

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ
В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ,
КАРТОГРАФИЧЕСКИХ, ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГКНП РП (первая редакция)

Издание официальное

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ
В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ,
КАРТОГРАФИЧЕСКИХ, ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГКНП РП (первая редакция)

Издание официальное

*Обязательно для соблюдения государственными
органами, государственными специализированными
организациями и иными организациями при
осуществлении ими
геодезической и картографической деятельности*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью настоящих основных положений по лазерному сканированию (далее – Основные положения) является установление общих положений и требований к выполнению лазерного сканирования местности и пространственных объектов в целях геодезических, картографических, землеустроительных работ и инженерных изысканий при создании 3D-моделей территории и цифровых двойников объектов.

Требованиями ГКНП следует руководствоваться при выполнении лазерного сканирования в целях обеспечения геодезических и картографических работ государственного и специального назначения, выполняемых при инженерных изысканиях, лесоустройстве, ведении различных кадастров (реестров, регистров), проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, выполнении иных работ, для обеспечения которых требуется выполнение аэросъемки.

Разработано Республиканским дочерним аэрофотогеодезическим унитарным предприятием ”БелПСХАГИ“ (государственное предприятие ”БелПСХАГИ“).

Утверждено приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от ____ 20__ г. № ____.

Вводится в действие с ____ 20__ г.

Введено впервые.

Внесено Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь в реестр государственной регистрации ГКНП № ____ от ____ 20__ г.

Настоящий технический нормативный правовой акт системы геодезических, картографических норм и правил не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

УДК

© Государственный комитет по имуществу
Республики Беларусь

ВЕДЕНИЕ

Лазерное сканирование является важным источником информации о местности и объектах при получении пространственных данных для решения картографических, землеустроительных, кадастровых, проектных, инженерных и других задач.

Характеристики материалов лазерного сканирования определяют качество конечной продукции в виде цифровых моделей поверхности, цифровых моделей местности, цифровых моделей рельефа, цифровых топографических карт и планов, а также новых видов продукции, таких как 3D-модели территории и цифровые двойники объектов. Документ разработан в целях получения конечной продукции требуемого качества на основе использования технологий лазерного сканирования.

Содержанием стандарта являются общие положения организации, проектирования и выполнения процессов лазерного сканирования, установления общих требований к съемочному оборудованию, программным средствам и технологиям получения и обработки материалов лазерного сканирования.

1. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В Основных положениях использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области геодезической и картографической деятельности (далее – ТНПА):

- ГКНП 09-ОР-2022 Техническая инструкция. По выполнению аэросъемки в целях обеспечения геодезических, картографических, землеустроительных работ и иных инженерных изысканий;

- ГКНП 12-ОР-2023 Техническая инструкция. По обработке материалов аэросъемки и космической съемки;

- ТКП 043-2006 Материалы и данные Государственного картографо-геодезического фонда Республики Беларусь. Перечень форматов материалов и данных, полученных в результате геодезических, фотограмметрических, картографических и земельно-кадастровых работ, подлежащих передаче в цифровой форме в Государственный картографо-геодезический фонд Республики Беларусь.

- СТБ 8032-2007 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Измерения геодезические. Термины и определения.

Примечание. При пользовании настоящей Технической инструкцией целесообразно проверить действие ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочный ТНПА заменен (изменен), то при пользовании настоящей Технической инструкцией следует руководствоваться введенным взамен (измененным) ТНПА. Если ссылочный ТНПА отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В Основных положениях применяются термины, установленные в ГКНП 09-ОР-2022, ГКНП 12-ОР-2023, а также следующие термины с соответствующими определениями:

1. **Аэросъемка** (топографическая): съемка местности, выполняемая аэросъемочной системой того или иного типа или одновременно двумя или более съемочными системами с воздушного судна с целью создания и обновления топографических карт и планов и иных пространственных данных о местности [1].

2. **Аэросъемочная система (топографическая)**: комплекс интегрированных технических и программных средств, используемых на борту воздушного судна и предназначенных для сбора исходных пространственных данных о местности того или иного типа с целью создания и обновления топографических карт и планов, или иных продуктов аэрофототопографического производства, а также для иных целей [1].

3. **Аэрофотокамера**: устройство, предназначенное для фотографирования земной поверхности с борта воздушного судна [1].

4. **Аэрофотоустановка:** устройство, предназначенное для крепления, амортизации и автоматического разворота аэрофотокамеры на угол сноса [1].

5. **Высота фотографирования:** высота полета воздушного судна при выполнении аэрофотосъемки относительно среднего уровня земной поверхности съемочного участка [1].

6. **Гиростабилизированная платформа (гироплатформа):** аэрофотоустановка, снабженная гироскопами, позволяющая сохранять требуемое направление оптической оси аэрофотокамеры и разворачивать ее на угол сноса.

7. **Дивергенция:** угловое расхождение диаметра светового луча по мере удаления его от оптической апертуры источника излучения [1].

8. **Инерциальное измерительное устройство:** жестко связанное с аэрофотокамерой или воздушным лазерным сканером (лидаром) устройство, основанное на сочетании акселерометров и гироскопов, предназначенное для определения углов ориентации фотокамеры или лидара во время выполнения аэрофотосъемки.

9. **Классификация точек лазерных отражений:** отнесение точек лазерных отражений к определенной классификационной группе по характерным признакам элементов местности и объектов [1].

10. **Лидар:** система воздушного лазерного сканирования местности, в результате которого определяются пространственные координаты точек отражения лазерного луча от поверхностей объектов местности [1].

11. **Лидарная съемка:** лазерное сканирование местности с борта воздушного судна, в результате которого определяются пространственные координаты точек отражения лазерного луча от поверхностей объектов местности и земной поверхности [2].

12. **Номинальное пространственное разрешение цифрового аэрофотоснимка:** разрешение цифрового аэрофотоснимка, характеризуемое размером проекции пикселя цифрового аэрофотоснимка на среднюю плоскость съемочного участка.

13. **Облако точек лазерных отражений; ТЛО:** совокупность фиксируемых лазерным сканером точек земной поверхности и объектов, характеризующихся пространственными координатами и интенсивностью отражения [1].

14. **Параметры редукции аэрофотокамеры:** измеренные линейные поправки для приведения фазового центра антенны спутникового приемника к центру проекции аэрофотокамеры [1].

15. **Параметры редукции лидара:** измеренные линейные поправки для приведения фазового центра антенны спутникового приемника к началу системы координат воздушного лазерного сканера [1].

16. **Плотность облака ТЛО:** количество точек лазерных отражений, приходящихся на единицу площади поверхности сканируемого объекта [1].

17. **Система лазерного сканирования:** аппаратно-программный комплекс определения пространственных координат точек отражения лазерного луча от поверхностей сканируемого объекта [1].

18. **Технологии дополненной реальности:** комплекс технологических решений, позволяющий с использованием специальных средств обработки и отображения информации (например, очки и шлемы дополненной реальности) дополнять объекты реального мира виртуальными элементами различной модальности (изображения, текст, аудио и пр.) [1].

19. **Угловая калибровка лидара:** совокупность процессов и операций по определению углов выставки системы координат лидара относительно системы координат инерциального измерительного устройства, а также других параметров в зависимости от типа воздушного лазерного сканера, выполняемых с целью настройки аппаратуры [1].

20. **Угловое разрешение лидара:** угол между ближайшими различающимися по отдельности точками лазерных отражений [1].

21. **Углы выставки (аэрофотокамеры, лидара):** углы ориентации системы координат аэрофотокамеры или лидара относительно системы координат инерциального измерительного устройства, жестко связанного с аэрофотокамерой или лидаром [1].

22. **Цифровая модель поверхности:** набор данных или файл, содержащий определенным образом представленные пространственные координаты (в определенной системе координат)

множества точек, лежащих на всех открытых видимых с точек фотографирования поверхностях: поверхности земли, зданий, сооружений и проч. [1].

23. Цифровая модель рельефа: файл или набор данных, содержащий определенным образом представленные пространственные координаты множества точек земной поверхности в определенной системе отсчета [1].

24. Цифровой двойник объекта: система, реализующая комплексную динамическую цифровую модель объекта для исследования и управления его характеристиками и функциональными опциями [1].

25. Цифровой двойник изделия: система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями [1].

26. 3D — модель территории: цифровой файл, содержащий трехмерное представление территории, включающее модель земной поверхности и модели объектов, на ней расположенных, составленное из полигонов с назначенными им растровыми текстурами, ограниченных ребрами и вершинами в трехмерном пространстве [1].

3. ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АФС — аэрофотосъемка;
АФУС — аэрофотоустановка;
АЭС — атомная электростанция;
БЛА – беспилотный летательный аппарат;
ВЛС — воздушное лазерное сканирование;
ГГС — государственная геодезическая сеть;
ГЭС — гидроэлектростанция;
ГИС — географическая информационная система;
ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система как обобщающее понятие, включая ГЛОНАСС, GPS и проч.;
ГСК — государственная система координат;
ИИУ — инерциальное измерительное устройство;
ЛС — лазерное сканирование;
МЛС — мобильное лазерное сканирование;
МСК — местная система координат;
НЛС — наземное лазерное сканирование;
ПВС — пилотируемое воздушное судно;
ПО — программное обеспечение;
САПР — система автоматизированного проектирования;
СКО — среднеквадратическое отклонение;
ТИМ — технология информационного моделирования;
ЦД — цифровой двойник;
ЦМП — цифровая модель поверхности;
ЦМР — цифровая модель рельефа;
ВIM — информационная модель строительного объекта (Building Information Model);
CSV — текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных (Comma-Separated Values);
GPS — система глобального позиционирования США (Global Positioning System);

ITRF — международная земная (геодезическая) отсчетная основа, реализация системы координат ITRS сетью опорных пунктов на Земле (International Terrestrial Reference Frame);

LAS — открытый двоичный формат, определенный Американским обществом фотограмметрии и дистанционного зондирования (ASPRS) для обмена и архивирования данных облака точек лидара (LiDAR Aerial Survey);

LAZ — сжатая версия формат LAS (LASzip);

MPiA — режим обработки множества импульсов, находящихся в воздухе одновременно (Multiple Pulses in Air);

OEM — оригинальный производитель оборудования — компания, производящая детали и оборудование, которые могут быть проданы другим производителем под другой торговой маркой (Original Equipment Manufacturer);

PPP — метод точного абсолютного спутникового определения местоположения (Precise Point Positioning);

RGB — обозначение цветного цифрового изображения, представленного аддитивной цветовой моделью (Red, Green, Blue);

RINEX — формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приемников (Receiver Independent Exchange Format);

RTK — режим спутниковых определений — кинематики в реальном времени (Real Time Kinematic);

SLAM — технология одновременного позиционирования и картографирования без использования ГНСС-оборудования (Simultaneous Localization and Mapping);

WKT — текстовый формат представления векторной геометрии и описания систем координат (Well-Known Text).

4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Классификация и состав систем лазерного сканирования

4.1.1. Лазерное сканирование выполняется с целью получения пространственных данных о земной поверхности, природных и искусственных объектах, его результатом должно являться облако ТЛО.

4.1.2. Обобщенная классификация систем, используемых для лазерного сканирования, приведена в приложении А (таблица А.1).

4.1.3. Система лазерного сканирования может быть установлена на стационарную платформу (штатив) или на подвижный носитель (воздушное или водное судно, автомобиль, железнодорожную платформу, тележку, рюкзак и т. д.).

4.1.4. Обязательными элементами системы лазерного сканирования являются сканирующий модуль (лидар), модуль записи и хранения данных на машинном носителе информации и программное обеспечение, реализующее задачи планирования, съемки и обработки результатов лазерного сканирования. Опционально эти элементы могут дополняться фото- или видеосъемочными системами, а воздушный лазерный сканер — аэрофотоустановкой.

4.1.5. В состав систем воздушного и мобильного лазерного сканирования необходимо включать модуль инерциального измерительного устройства и модуль приемного устройства глобальной навигационной спутниковой системы со спутниковой антенной, которые являются опциями для стационарной и переносной лазерных систем.

4.2. Основные характеристики систем лазерного сканирования

4.2.1. Независимо от специфики (мобильности) применения система лазерного сканирования должна проходить поверку с установленной для нее периодичностью определенной ее эксплуатационной документацией, но не реже одного раза в три года.

4.2.2. Основными метрологическими характеристиками наземных систем лазерного сканирования, определяющими их выбор для решения конкретных практических задач при конкретных условиях применения, являются:

- погрешность измерений расстояний в полевых и лабораторных условиях;
- погрешность измерений горизонтальных углов в диапазоне от 0° до 360°;
- погрешность измерений вертикальных углов в диапазоне от минус 45° до плюс 90°.

Основными метрологическими характеристиками воздушных систем лазерного сканирования, определяющими их выбор для решения конкретных практических задач, являются:

- абсолютная погрешность измерения длины;
- абсолютная погрешность определения координат точек.

Метрологическое обеспечение наземных и воздушных систем лазерного сканирования осуществляется в соответствии с требованиями утвержденной поверочной схемы организации, уполномоченной проводить такие работы.

4.2.3. Основными техническими характеристиками систем лазерного сканирования, в том числе обязательными, включаемыми в требования и оцениваемые на различных технологических этапах выполнения работ по лазерному сканированию, являются:

- максимальная измеряемая дальность;
- максимальная частота повторений лазерных импульсов;
- частота сканирования;
- погрешность определения пространственных координат (для требуемой дальности или высоты съемки);
- количество принимаемых отражений;
- угол сканирования (для наземных систем — по горизонтали и по вертикали);
- дивергенция;
- угловое разрешение;
- класс лазера по безопасности для зрения.

4.2.4. Для воздушных лазерных сканеров дополнительно может включаться в требования наличие режима MPiA (количество импульсов, находящихся в воздухе одновременно).

4.2.5. Основными используемыми эксплуатационными характеристиками систем лазерного сканирования, которые должны включаться в требования и оцениваться на различных технологических этапах выполнения работ по лазерному сканированию, являются:

- габаритно-весовые характеристики;
- характеристики энергопотребления;
- класс защиты от внешних воздействий;
- диапазон рабочих температур.

4.3. Условия использования систем лазерного сканирования

4.3.1. При выборе системы лазерного сканирования для выполнения конкретных видов работ следует руководствоваться требованиями, предъявляемыми к создаваемой продукции, техническими характеристиками системы, которые должны обеспечивать необходимую точность определения пространственных координат, плотность ТЛО и производительность проводимых работ.

4.3.2. Применение систем воздушного лазерного сканирования экономически целесообразно для получения пространственной информации на значительные по площади территории или на значительные по протяженности линейные объекты вне транспортных путей. Как правило, ВЛС

применяется совместно с АФС, дополняя друг друга. При создании карт и планов ВЛС является важным и фактически единственным источником информации о земной поверхности и объектах, на ней расположенных, закрытых растительностью. В зависимости от условий съемки воздушное лазерное сканирование выполняется с пилотируемых или беспилотных воздушных судов.

4.3.3. Целесообразность применения ПВС или БЛА в большой степени должна определяться назначением лидарной съемки, требованиями к конечной продукции и ТЛЮ, характеристиками воздушных судов и применяемых на них лидаров, которые имеются в распоряжении, характером и расположением объекта съемки. С учетом этих факторов должен выбираться вариант, оптимальный по стоимости и затратам времени.

4.3.3.1. При проектировании применения ВЛС с ПВС необходимо учитывать следующие факторы:

- требуемые плотность ТЛЮ и точность определения их пространственных координат;
- площадь объекта съемки более 100 км², протяженность трассы более 150 пог. км;
- технические и эксплуатационные характеристики ПВС и воздушного лазерного сканера должны обеспечить требования, предъявляемые к создаваемой продукции;
- ограниченная доступность для отдельных видов транспорта объекта съемки и значительная его удаленность от аэродрома базирования ПВС.

4.3.3.2. Проектирование применения ВЛС с БЛА следует выполнять с учетом размеров, положения объекта съемки, характеристик используемого лидара в соответствии с требованиями к характеристикам с:

- а) для БЛА с продолжительностью полета до 2 ч:
 - площадь объекта съемки до 5 км²;
 - протяженность линейной трассы до 50 пог. км;
- б) для БЛА с продолжительностью полета от 2 до 6 ч:
 - площадь объекта съемки до 50 км²;
 - протяженность линейной трассы до 150 пог. км.

4.3.3.3. В отношении типа БВС (если позволяет рабочая высота съемки и характеристики оборудования):

- для съемки участков площадью менее 20 км² достаточно использовать мультикоптер или БЛА самолетного типа с вертикальными взлетом и посадкой, с электродвигателем и продолжительностью полета до 2 ч;
- для съемки участков площадью от 20 до 50 км² целесообразно использовать БЛА с электрическим двигателем и продолжительностью полета 2—4 ч;
- для съемки участков площадью более 100 км² при невозможности или нецелесообразности использования ПВС следует использовать БЛА вертикального взлета и посадки с двигателем внутреннего сгорания или гибридным двигателем и продолжительностью полета 8—10 ч.

4.3.3.4. Выбор эффективной высоты съемки для БЛА следует выполнять не только с учетом ограничений его максимальной высоты полета, но и в большей степени с учетом характеристик воздушного лазерного сканера: дальности действия, плотности и точности определения пространственных координат ТЛЮ, максимальной частоты импульсов, частоты сканирования, угла сканирования, количества отражений (не менее четырех, если позволяют рабочая высота съемки и характеристики оборудования), типа развертки (при создании 3D-моделей).

4.3.3.5. Использование систем НЛС необходимо рассматривать при их экономической эффективности в сравнении с применением традиционных геодезических и топографических методов либо для дополнения ТЛЮ, полученных с ВЛС, данными наземного лазерного сканирования. В свою очередь выбор между стационарными системами наземного лазерного сканирования, мобильными и переносными системами наземного лазерного сканирования должен быть экономически и технически обоснован с учетом размеров и характерных особенностей объекта съемки, требований к плотности и точности ТЛЮ.

4.3.3.6. Применение стационарных систем НЛС должно быть обосновано с учетом размеров объектов съемки, их доступности, требований к плотности и точности получаемых ТЛО. Основными направлениями применения стационарных систем НЛС являются:

1) крупномасштабная съемка ограниченных по площади территорий, в том числе территорий с высокой степенью загруженности конструктивными элементами, например, при съемке объектов нефтегазовой отрасли, состоящих из большого количества трубопроводов, кабельных эстакад, производственных зданий, резервуаров и т. п.;

2) решение маркшейдерских задач:

- съемка бортов открытых карьеров, котлованов;
- вычисление объемов породы на различных отвалах, складах и хранилищах сыпучих материалов;
- определение береговой линии хвостохранилищ;
- определение объемов подземных выработок.

3) выполнение работ при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов:

- на этапе проектирования — для учета взаимодействия инженерных систем объектов капитального строительства, систематизации данных об используемом оборудовании, элементах, конструкциях, выпуска документации модели и подготовки документации для экспертизы, трехмерной информационной модели и документации для строителей,

- на этапе строительства — для контроля и корректировки проекта в процессе строительства объекта, оптимального планирования перемещения, установки и удаления крупных элементов конструкций или сложного оборудования в процессе монтажных работ, для уточнения требуемых допусков, контроля планового и фактического выполнения строительства и подтверждения выполненных объемов работ, дистанционного управления процессами строительства, исполнительной съемки по его завершении,

- на этапе эксплуатации — мониторинг состояния объекта с учетом новых потребностей предприятия для диагностики инженерных систем, определения сроков замены оборудования, выявления возможных неисправностей и предупреждения поломок систем;

4) высокоточный мониторинг деформаций объектов и сооружений (объектов инфраструктуры ГЭС и АЭС, мостов, путепроводов, высотных сооружений, сложных конструкций);

5) определение пространственных координат многоуровневых объектов недвижимости и сложных внутренних помещений;

6) съемка памятников архитектуры и культурного наследия, монументальных сооружений и исторических памятников, археологических объектов в случаях, когда требуется получить данные с высокой точностью и детальностью;

7) техническая диагностика резервуаров для определения их параметров (вертикальности оси, деформации стенки, отклонений, образующих стенки от вертикали, объема резервуара).

4.3.3.7. Наземное мобильное лазерное сканирование выполняется как на площадных, так и на линейных протяженных объектах, для которых обеспечена возможность движения моторизованных платформ со сканирующей лазерной системой, а объекты сканирования находятся в пределах прямой видимости на всем маршруте движения мобильной системы.

В качестве линейных протяженных объектов для применения мобильных систем ЛС могут выбираться трассы автомобильных и железных дорог, реки и каналы, линии электропередачи и связи, нефте- и газопроводов, если эти объекты расположены вдоль автомобильных или железных дорог (при условии видимости с мобильной платформы).

В отрасли дорожного хозяйства МЛС может применяться:

- в инженерно-геодезических изысканиях при проектировании и исполнительной съемке;
- при паспортизации и инвентаризации существующей дорожной инфраструктуры;
- при создании ГИС и пространственных баз данных.

4.3.3.8. Объектами применения переносных систем ЛС должны являться внутренние помещения и территории внутриквартальной плотной застройки, площадные размеры и характер

интерьеров которых не позволяют использовать мобильные системы и затрудняют использование стационарных систем лазерного сканирования.

4.3.3.9. При съемке прибрежных участков местности и территорий с наличием водных объектов могут использоваться многосредные или батиметрические лазерные системы, позволяющие с воздуха определять рельеф суши и дна водоемов.

5. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

5.1. Состав технологических процессов лазерного сканирования

5.1.1. В общем случае комплекс работ по лазерному сканированию должен включать следующие основные технологические процессы:

- проектирование;
- подготовительные работы;
- геодезическое обеспечение;
- лазерное сканирование объекта съемки;
- обработку данных лазерного сканирования;
- контроль, оформление результатов и составление (раздела) отчета.

5.1.2. При проектировании процессов ЛС, исходя из требуемой плотности и точности ТЛО, следует учитывать:

- метрологические характеристики систем ЛС, приведенные в 4.2.2;
- технические характеристики систем ЛС, приведенные в 4.2.3;
- эксплуатационные характеристики систем ЛС, приведенные в 4.2.4.

5.1.3. При подготовительных работах, съемке и обработке данных лазерного сканирования необходимо учитывать технические характеристики, приведенные в 4.2.3.

5.2. Общие требования к проектированию лазерного сканирования

5.2.1. Результатом проектирования должны являться обоснованные проектные решения по выбору системы лазерного сканирования с конкретными значениями метрологических, технических и эксплуатационных характеристик, а также по условиям и параметрам сканирования и обработки.

Технический проект должен содержать обоснование числа, мест расположения, точности определения координат и высот базовых станций, опорных и контрольных точек, максимально допустимой удаленности базовых станций от объекта съемки.

В техническом проекте, необходимо конкретизировать, каким программным средством и с использованием каких значений параметров выполняются обработка и контроль качества спутниковых и инерциальных (ГНСС/ИИУ) определений, а также создание облаков точек. Положение маршрутов воздушного или мобильного лазерного сканирования следует устанавливать при условии их допустимого удаления от ближайшей базовой станции ГНСС.

В техническом проекте должны быть конкретизированы методика и процедуры контроля результатов лазерного сканирования.

5.2.2. Общие требования к проектированию воздушного лазерного сканирования

5.2.2.1. В процессе технического проектирования работ по воздушному лазерному сканированию необходимо предоставить детальные проектные решения в отношении воздушного судна, комплекса аппаратно-программных средств лазерного сканирования как для пилотируемых, так и для беспилотных воздушных судов, в части воздушного лазерного сканера, ИИУ и ГНСС-систем, необходимости применения дополнительного оборудования (аэрофотокамеры, стабилизированной гиropлатформы и др.), геодезического обеспечения ВЛС, программного обеспечения проектирования, выполнения сканирования, обработки и контроля качества результатов ЛС. Примеры технического оснащения систем воздушного лазерного сканирования приведены в приложении 2.

5.2.2.2. Обоснование в техническом проекте выбора типа воздушного судна (ПВС/БЛА) и его бортового оборудования необходимо выполнять исходя из экономической целесообразности и временных затрат с учетом требований к составу и характеристикам выходной продукции (в отношении точности определения плановых координат и высот, плотности ТЛО), размеров, характера и местоположения объекта съемки, его удаленности от мест базирования ПВС или БЛА, а также с учетом технических характеристик имеющихся в распоряжении воздушных судов и бортового аэросъемочного оборудования, если лазерное сканирование сопровождается аэрофотосъемкой. При выборе в качестве воздушного судна БЛА требования к судну, его бортовому оборудованию и ПО обработки данных лазерного сканирования обосновываются по ГКНП 09-2023.

5.2.2.3. Техническое проектирование геодезического обеспечения ВЛС должно содержать предложения в части количества, характера расположения, точности определения координат и высот наземных базовых станций, опорных и контрольных точек, максимально допустимую удаленность базовых станций для сопровождения съемочного процесса в зависимости от вида и характеристик создаваемой продукции.

5.2.2.4. Программные средства проектирования съемки и обработки результатов ВЛС должны выполнять:

- проектирование съемочных маршрутов, а также расчет летного времени с учетом заданных границ объекта (участка) площадной съемки или положения оси линейного протяженного объекта, рельефа местности объекта съемки, характеристик лидара и воздушного судна, требуемой плотности ТЛО (при включении аэрофотокамеры в состав оборудования ВЛС должно выполняться проектирование АФС с учетом требуемых номинального пространственного разрешения, продольного и поперечного перекрытий аэрофотоснимков);

- управление системой воздушного лазерного сканирования, аэрофотокамерой и контроль навигационных параметров ВЛС во время полета;

- послеполетную обработку материалов ВЛС, включая расчет траектории полета воздушного судна по данным ИИУ/ГНСС, генерацию облака ТЛО в формате LAS/LAZ (или ином, установленном техническими требованиями к создаваемой продукции), калибровку лидара, уравнивание маршрутов (при необходимости, в частности, получаемых с БЛА с ограниченной точностью ИИУ), контроль качества материалов ВЛС.

5.2.2.5. В техническом проекте должны содержаться проектные решения по параметрам полета, основанные на исходных технических требованиях, предъявляемых к создаваемой продукции, и технических характеристиках лидара и аэрофотокамеры. При определении параметров полета (высота полета и расстояние между маршрутами) необходимо принимать во внимание соответствие ширины полосы съемки системы ВЛС и АФС.

5.2.2.6. Технический проект должен содержать проектные решения по обработке ВЛС и ее результатам: межмаршрутному уравниванию облаков ТЛО, использованию контрольных точек, их количеству и расположению, формату записи в файле облака ТЛО дополнительных атрибутов точек помимо их класса, интенсивности и пространственного положения, необходимости определения истинной отметки высот в местах с густой и высокой растительностью, методу досъемки рельефа (при ее необходимости). При проектировании следует обеспечить выполнение положений ГКНП 09-2023 (подраздел 7.2.2) в части обработки данных воздушного лазерного сканирования и создание ЦМР.

5.2.2.7. В техническом проекте необходимо отражать сезонно-погодные и временные условия проведения ВЛС, требуемые сроки выполнения работ.

5.2.3. Общие требования к проектированию наземного лазерного сканирования (мобильного, стационарного и переносного)

5.2.3.1. В процессе технического проектирования наземного лазерного сканирования следует определить конкретные технические решения:

- по используемому оборудованию в части сканирующего, навигационного модуля, цифровых фотокамер, мобильной платформы (для работ по мобильному лазерному сканированию);

- программному обеспечению проектирования, съемки и обработки данных сканирования;

– геодезическому обеспечению в части количества, характера расположения, точности определения координат и высот базовых станций, опорных и контрольных точек, максимально допустимой удаленности базовых станций для сопровождения съемочного процесса в зависимости от вида НЛС и выполняемых работ.

5.2.3.2. Для стационарных и переносных сканерных систем на этапе проектирования следует определить, с учетом рекогносцировки территории, оптимальную схему размещения скан-позиций стационарного и оптимальную схему движения (маршрут) переносного сканера, мест установки опорных точек (специальных марок) и способ получения координат их центров. Также на этапе проектирования определяют с учетом сложности объекта съемки необходимость выполнения помимо фотосъемки видеосъемки территории для последующего камерального дешифрирования.

5.2.3.3. При выборе оборудования наземного лазерного сканирования необходимо руководствоваться техническими требованиями к создаваемой продукции, характеристиками наземного лазерного сканера, размером площади сканируемого объекта (территории работ), требуемым сроком выполнения полевых работ и условиями, в которых будут выполняться измерения (см. приложение В).

5.2.3.4. С учетом технических требований к создаваемой продукции при проектировании стационарного лазерного сканирования может быть предусмотрена цифровая фото- или видеосъемка параллельно с проведением сканирования, а также получение координат точек стояния сканера с использованием геодезических инструментов или ГНСС-аппаратуры и/или центрирование над пунктом с известными координатами.

5.2.3.5. При проектировании мобильного сканирования выбор мобильной платформы должен выполняться с учетом таких исходных данных для проектирования, как:

- условия выполнения работ (съемка на железной дороге, на автодорогах, водных объектах и др.);
- размеры объекта съемки, его удаленности от пункта базового размещения оборудования;
- технические и эксплуатационные характеристики съемочного оборудования.

Для получения высокоточных пространственных данных о местности и объектах проектируемая мобильная съемочная система должна быть укомплектована инерциальным измерительным устройством и двухчастотным ГНСС-приемником. Также для повышения точности траектории движения автомобильной платформы целесообразно использовать датчик пути (одометр), устанавливаемый на колесо автомобиля.

5.2.3.6. При выборе в процессе проектирования оборудования переносного лазерного сканирования (с ГНСС-приемником или без него) дополнительно необходимо руководствоваться требованиями к условиям съемки (снаружи или внутри помещений), в которых будут выполняться измерения.

При выполнении переносного лазерного сканирования на крупных открытых промышленных площадках или в городских кварталах с возможностью приема спутниковых сигналов следует проектировать использование базовых станций, число и схема размещения которых должны определяться исходя из требований к точности выполнения работ.

5.2.3.7. Проектируемое к применению программное обеспечение для выполнения сканирования с использованием стационарных систем должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- автоматическое или полуавтоматическое (с участием оператора) внешнее ориентирование сканов по опорным точкам в виде марок, входящих в комплект поставки сканера, и по характерным точкам;
- фильтрация ТЛО, полученных в ходе съемки, от шумов (отражений от пыли, присутствующей в атмосфере), их прореживание с целью обеспечения требуемой плотности ТЛО, указанной в технических требованиях к создаваемой продукции, если полученные в ходе съемки данные избыточны по плотности;
- импорт текстового или CSV-файла с координатами опорных точек;

- пакетное уравнивание сканов с формированием отчета по оценке точности уравнивания;
- визуализация сканов в режиме двухмерной развертки и 3D-режиме;
- выполнение калибровки внешней фотокамеры, если предусмотрено ее использование в ходе выполнения съемки;
- автоматическое окрашивание сканов по цифровым фотоснимкам.

5.2.3.8. Программное обеспечение проектирования, съемки и обработки результатов мобильного лазерного сканирования должно отвечать следующим основным требованиям:

- возможность построения маршрута движения мобильной системы, в том числе участков ее разворотов с отображением положения точек на цифровой карте местности;
- возможность контроля за ходом выполнения сканирования, условий приема ГНСС-сигналов и статуса инерциального измерительного устройства, возможность устанавливать параметры сканирования, записи на внешние и внутренние накопители данных;
- возможность импорта «сырых» данных сканирования и навигационных данных, обработки данных ГНСС и инерциального измерительного устройства для построения траектории движения мобильной платформы, генерации облаков точек, цифровых фотографий, выполнения оценки точности, вывода LAS (LAZ) файлов, формирования отчетов.

5.2.3.9. Для переносных систем лазерного сканирования программное обеспечение должно выполнять:

- внешнее ориентирование сканов по специальным маркам, пакетное уравнивание сканов и оценку точности результатов уравнивания по сходимости четких контуров, по опорным и контрольным точкам;
- конвертирование уравненного облака ТЛО в заданный формат;
- выполнение оценки точности с формированием текстового отчета.

5.2.3.10. Помимо выбора сканирующей системы и программного обеспечения в техническом проекте должны содержаться проектные решения в части:

- способа установки сканера: штатив, размещение на крыше автомобиля, на специализированной платформе и т. п.;
- параметров съемки (скорость движения мобильной платформы или переносного сканера, перекрытие облаков ТЛО между соседними маршрутами, частота сканирования с учетом требуемой плотности ТЛО, интервал фотографирования, протяженность и направление маршрутов и другие;
- особенностей съемки в помещениях, городских кварталах и на автострадах, на железных дорогах, на трассах с большим числом перекрестков, поворотов и несколькими полосами движения;
- климатических условий и условий окружающей среды при выполнении работ на объекте.

5.3. Общие требования к подготовительным работам

5.3.1. Общие требования к подготовительным работам по воздушному лазерному сканированию

5.3.1.1. Состав подготовительных работ к воздушному лазерному сканированию должен включать:

- изучение территорий аэросъемки, технических требований, выполнение соответствующих расчетов, подготовка полётной и рабочей документации;
- получение разрешений и согласований на выполнение аэросъёмочных работ со всеми заинтересованными сторонами в соответствии с правилами использования воздушного пространства Республики Беларусь;
- установку аэросъёмочного оборудования на борт воздушного судна;
- подготовку воздушного судна к полету;
- определение параметров редукции фазового центра антенны бортового спутникового приемника (ГНСС-приемника) к внешнему центру проекции аэрофотокамеры и началу системы координат лидара относительно системы координат ИИУ;
- выбор калибровочных объектов;

- угловую калибровку аэрофотокамеры и лидара;
- составление полетного плана выполнения ВЛС.

5.3.1.2. Калибровку лидара необходимо выполнять с периодичностью, рекомендованной в его эксплуатационной документации. В обязательном порядке калибровка также выполняется после каждой установки лидара на борт воздушного судна. Угловая калибровка воздушного лазерного сканера и аэрофотокамеры выполняется в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

5.3.2. Общие требования к подготовительным работам по наземному лазерному сканированию

5.3.2.1. Состав подготовительных работ к наземному лазерному сканированию должен включать:

- подготовку комплекта оборудования к работе, включая подготовку всех блоков системы, проверку кабелей, аккумуляторов, блока управления, накопителей данных;
- проверку работоспособности лазерного сканера и полевого ноутбука/планшета, калибровку внешней фотокамеры (при необходимости), создание рабочего проекта съемки на полевом ноутбуке/планшете в управляющем программном обеспечении.

5.3.2.2. Для мобильной лазерной системы дополнительно следует выполнять:

- установку и закрепление сканирующей системы на мобильной платформе, выполнение калибровочного проезда, процедур инициализации инерциальной системы (развороты в форме восьмерки для автотранспорта), планирование оптимальных проездов с учетом объединения соседних маршрутов;
- рекогносцировку территории съемки, определение границ участка съемки, составление плана съемки с учетом геометрии созвездия спутников ГНСС и загруженности автодорог;
- настройку режимов съемки: частоты излучения, частоты сканирования, скорости перемещения мобильной платформы, интервала фотографирования и др.

5.4. Общие требования к геодезическому обеспечению лазерного сканирования

5.4.1. Общие требования к геодезическому обеспечению воздушного лазерного сканирования В процессе геодезического обеспечения ВЛС необходимо выполнять:

- спутниковые измерения на точках съемочной геодезической сети, на пунктах ГГС, используемых для определения параметров преобразования координат из системы координат ГСК в референционную систему координат, на которой основана МСК (если она используется и требуется определить параметры преобразования), а также на точках государственной нивелирной сети;
- спутниковые измерения на базовых станциях (если не используется метод PPP) в процессе выполнения ВЛС с целью относительного определения координат центров проекции аэрофотоснимков и начала системы координат лидара в системе координат ГСК или ITRF;
- обработку материалов полевых ГНСС-измерений, уравнивание и оценку точности результатов измерений, вычисление координат и высот определяемых пунктов и точек, составление каталогов;
- определение параметров преобразования, связывающих систему координат ГСК с референционной системой координат;
- составление технического отчета со схемой съемочной геодезической сети и указанием исходных пунктов и определяемых точек.

5.4.2. Общие требования к геодезическому обеспечению наземного лазерного сканирования

5.4.2.1. Геодезическое обеспечение наземного лазерного сканирования в общем случае должно предусматривать:

- определение координат и высот базовых станций, опорных и контрольных точек, при необходимости их маркирование;

- выполнение в процессе сопровождения лазерного сканирования и съемки объекта ГНСС измерений на базовых станциях с учетом требований к необходимому числу спутников и их распределению на небосводе;

- определение параметров преобразования, связывающих проектную систему координат (в которой ведутся работы по сканированию) с внешней ГСК или референционной СК;

- обработку материалов с уравниванием и оценкой точности результатов измерений, вычисление координат определяемых точек, составление каталогов координат и схемы съемочной геодезической сети.

5.4.2.2. Для мобильного лазерного сканирования опорные и контрольные точки должны быть размещены вдоль маршрута съемки. В качестве средств для геодезических спутниковых наблюдений на базовых станциях допускается использовать как одиночные спутниковые ГНСС-приемники, так и приемники, входящие в состав сетей дифференциальных базовых станций. Базовые станции необходимо размещать таким образом, чтобы расстояние между приемником, установленным на мобильной платформе, и ближайшей базовой станцией не превышало 25 км.

5.4.2.3. Для геодезического обеспечения стационарного и переносного лазерного сканирования определение координат опорных и контрольных точек, использующихся при преобразовании результатов сканирования в заданную систему координат, необходимо выполнять с применением традиционного геодезического оборудования и спутниковых приемников. При съемке внутри помещений координаты опорных и контрольных точек должны быть получены в безотражательном режиме использования тахеометра.

5.5. Общие требования к лазерному сканированию объекта съемки

5.5.1. Общие требования к воздушному лазерному сканированию объекта съемки

5.5.1.1. Воздушное лазерное сканирование должно выполняться по рассчитанным в техническом проекте маршрутам съемки при условии допустимого удаления воздушного судна от ближайшей базовой станции ГНСС (в случае использования метода PPP измерения на базовых станциях не выполняются при обеспечении требований к точности рассчитываемой траектории и длительности полета не менее 50 мин).

5.5.1.2. ВЛС должно выполняться при условии, что нижняя кромка облачности расположена выше высоты сканирования. Угол крена воздушного судна в процессе лидарной съемки не должен превышать 5° (при расчете траектории в режиме одновременной обработки данных ГНСС и инерциальных данных — 15°), на разворотах при заходе на новый маршрут может достигать 25° .

Участки объекта съемки, на которых обнаружена аппаратная потеря данных ВЛС, должны быть сняты повторно.

5.5.2. Общие требования к наземному лазерному сканированию объекта съемки

5.5.2.1. Наземное лазерное сканирование необходимо выполнять с использованием рассчитанных на этапе проектирования параметров съемки и в соответствии с рабочим проектом съемки.

В процессе НЛС должны быть обеспечены покрытием ТЛЮ все объекты, указанные в технических требованиях, на заданном расстоянии от точки стояния или траектории движения сканера, включая объекты, затеняемые проезжающим транспортом, естественными и искусственными препятствиями.

Непосредственно после выполнения НЛС необходимо выполнять полевой контроль результатов сканирования. На этом этапе проверяют полноту покрытия объекта точками лазерных отражений, необходимую плотность данных, определяют места досъемочных работ, выполняемых другими методами.

5.5.2.2. При выполнении стационарного лазерного сканирования скан-позиции (станции) размещают на объекте согласно разработанному на этапе подготовки абрису (схеме) с учетом размещения марок.

Сканирование должно выполняться либо по произвольно выбираемым маршрутам, либо с прокладкой замкнутого в целях контроля сканерного хода. В процессе съемки следует обеспечить требования к покрытию объекта данными лазерного сканирования, в том числе зоны с пропусками данных. Для минимизации зон с пропусками данных сканирование таких участков должно осуществляться с перекрытиями.

5.5.2.3. При выполнении мобильного лазерного сканирования следует выполнять проезды во встречных направлениях или многократные проезды для обеспечения покрытием точками лазерных отражений всех объектов съемки, указанных в ТЗ и располагаемых на заданном расстоянии от мобильной платформы.

5.5.2.4. При выполнении переносного лазерного сканирования внутри помещений без ГНСС измерений для обеспечения необходимой точности работ на объекте съемки следует размещать специальные марки, координаты центров которых получают геодезическим методом соответствующего уровня точности (в 2,5—3 раза превышающим результирующую точность съемки объекта сканирования).

5.6. Общие требования к обработке материалов лазерного сканирования

Для обработки материалов лазерного сканирования следует использовать программные средства, обладающие необходимыми эксплуатационными характеристиками и обеспечивающие получение результатов, определяемых техническими требованиями к создаваемой продукции.

В процессе обработки материалов лидарной съемки необходимо выполнять технический контроль наличия и состояния цифровых файлов ЛС, полноты покрытия объекта съемки ТЛО, первичную обработку материалов ЛС, в том числе подготовка комплекта материалов, передаваемых в камеральную обработку с учетом требований, предъявляемых в техническом проекте к первичной обработке данных ЛС.

5.6.1. Общие требования к обработке материалов воздушного лазерного сканирования

5.6.1.1. Для обработки материалов ВЛС программное обеспечение должно иметь функциональные возможности выполнения следующих функций:

- обработку данных калибровочного полета и определение параметров калибровки;
- обработку «сырых» лидарных данных с использованием полученных параметров калибровки и ГНСС/ИИУ измерений, формирование файлов ТЛО;
- контроля точности ТЛО по расхождениям в межмаршрутных перекрытиях, уравнивание данных ТЛО многомаршрутной съемки;
- классификацию точек лазерных отражений и ЦМП, формирование ЦМР;
- контроля плотности точек ЦМР;
- контроля точности ЦМР по контрольным точкам и взаимной согласованности ЦМР и точек фотограмметрического сгущения;
- преобразования ЦМР в требуемую систему координат и высот [3].

5.6.1.2. Обработка материалов ВЛС должна включать:

- обработку данных калибровочного полета и определение параметров калибровки лидара по контрольным точкам и тестовым объектам;
- обработку ГНСС/ИИУ измерений и расчет траектории полета воздушного судна;
- входной контроль, обработку «сырых» лидарных данных с использованием полученных параметров калибровки и траектории воздушного судна, формирование файлов ТЛО в LAS-формате;
- контроль точности ТЛО по расхождениям в межмаршрутных перекрытиях, уравнивание данных ТЛО многомаршрутной съемки;
- контроль точности в плане и по высоте ТЛО по контрольным геодезическим и фотограмметрическим (при их наличии) точкам;
- контроль плотности ТЛО;

- преобразование ТЛО в требуемую систему координат и высот, экспорт в формат, определяемый техническими требованиями к создаваемой продукции;
- формирование отчета о выполнении лазерного сканирования в виде текстового файла.

5.6.2. Общие требования к обработке материалов наземного лазерного сканирования

5.6.2.1. Обработка материалов наземного лазерного сканирования должна включать:

- проверку целостности и корректности записи данных лазерного сканирования;
- генерацию ТЛО в LAS-формате или другом формате, установленном техническими требованиями;
- объединение ТЛО из разных маршрутов МЛС или отдельных сканов в стационарном лазерном сканировании в единое облако точек и его уравнивание;
- классификацию ТЛО;
- контроль точности ТЛО путем их совмещения с опорными и контрольными точками;
- преобразование полученных данных в систему координат и высот объекта съемки, указанную в технических требованиях к создаваемой продукции;
- конвертирование облака ТЛО в формат, предусмотренный техническими требованиями;
- формирование отчета о выполнении лазерного сканирования в виде текстового файла.

5.6.2.2. Обработка материалов стационарного лазерного сканирования должна предусматривать ориентирование данных сканирования для каждой станции по специальным маркам или контурным точкам, их уравнивание и оценку точности результатов уравнивания по сходимости координат твердых контуров, опорных и контрольных точек.

5.6.2.3. Обработка материалов мобильного лазерного сканирования дополнительно должна предусматривать:

- расчет траектории движения мобильной платформы по данным спутниковой и инерциальной системы;
- обработку данных калибровочного проезда;
- объединение в единый файл данных лазерного сканирования и результатов измерений траектории проезда мобильной платформы бортовым блоком ГНСС/ИИУ;
- контроль массива ТЛО для перекрывающихся частей маршрутов съемки и по сходимости четких контуров, а также по контрольным точкам;
- представление ТЛО, полученных в результате первичной обработки, в требуемой системе координат и высот, экспорт в формат, определяемый техническими требованиями к создаваемой продукции.

5.6.2.4. Обработка материалов переносного лазерного сканирования должна предусматривать:

- расчет траектории движения переносного сканера с использованием данных спутниковой и инерциальной системы или/и с использованием технологии SLAM;
- объединение в единый файл данных лазерного сканирования и результатов обработки измерений траектории переносного сканера;
- вывод LAS-файлов облаков точек или в других требуемых форматах;
- контроль сходимости массива ТЛО для замыкающих частей маршрутов съемки по четким контурам, а также по опорным и контрольным точкам.

5.7. Общие требования к результатам обработки материалов лазерного сканирования и продуктов, получаемых на их основе

5.7.1. Результатом обработки данных лазерного сканирования должны быть представлены материалы в следующем составе: файл (файлы) с облаками ТЛО; файлы с фотоизображениями или видеофайлы, полученные одновременно с процессом лазерного сканирования (если было предусмотрено проектом), картограмма выполненных работ, акт контроля качества материалов лазерного сканирования, отчет о выполненных работах.

5.7.2. Общепринятым форматом файла облака ТЛО является формат LAS или аналогичный (например, E57, PLY), в котором в общем случае может содержаться информация (при наличии ее отдельных составляющих) в следующем составе:

- пространственные координаты ТЛО;
- интенсивность отраженного сигнала;
- цвет RGB (определенный по фотоизображениям);
- номер отражения;
- количество отражений;
- стандартное время GPS;
- угол поворота зеркала.

5.7.3. Когда облака точек занимают объем компьютерной памяти, превышающей объем доступной оперативной памяти, обработку следует организовать путем частичной загрузки и обработки информационных массивов, объем которых определяется характеристиками технических средств обработки.

5.7.4. Результаты лазерного сканирования должны обеспечивать получение пространственных данных для решения поставленных задач: создание 3D-моделей территорий, кадастровых работ, цифровых инженерных топографических планов, инженерных цифровых моделей местности, создания цифровых топографических карт и планов для их использования в целях топографической съемки, выполнения проектных, строительных, инженерно-архитектурных, маркшейдерских и кадастровых работ.

5.7.5. Облако точек лазерных отражений, полученное в результате обработки, представляется плоскими прямоугольными координатами в равноугольной поперечно-цилиндрической картографической проекции, применительно к системе координат ГСК или ITRF и геодезическими или нормальными высотами. В зависимости от решаемых задач результаты лазерного сканирования могут быть сформированы в МСК, допускается формирование облаков ТЛО в иных системах координат и высот (например, условной), если такое требование установлено или согласовано заказчиком. Для целей топографического картографирования в ГСК должна быть использована проекция Гаусса-Крюгера.

5.7.6. К облакам ТЛО необходимо приложить текстовый файл, содержащий параметры преобразования системы координат, а также модели использованного геоида в формате WKT или аналогичном, предусмотренном техническими требованиями, предъявляемыми к создаваемой продукции.

5.7.7. Последующая обработка облака точек должна обеспечивать получение производных продуктов, которые повышают информативность исходных данных. В частности, производными продуктами могут являться профили, сечения, структурные линии, а также цифровые модели пространственных объектов (природных и искусственных), выделенные различными методами классификации, которые могут быть дополнительно проанализированы визуально, интегрированы в виртуальную среду для технологии дополненной реальности или трехмерного отображения.

5.7.8. При использовании данных лазерного сканирования для промышленных целей или осуществлении кадастровой деятельности облака точек могут являться основой для создания моделей САПР и более сложных информационных моделей строительных объектов (ТИМ/ВМ) для дальнейшего анализа специалистами в области различных приложений.

5.8. Общие требования к контролю, оформлению результатов и составлению отчета

5.8.1. Результаты лазерного сканирования контролируются на технологических процессах (этапах) работ, при приемке продукции отделом технического контроля, при передаче продукции заказчику.

5.8.2. Полевой контроль должен выполняться непосредственно в процессе лазерного сканирования. На этом этапе определяют соответствие данных лазерного сканирования требованиям

технического задания и нормативно-технической документации. При выявлении несоответствия требованиям принимают решение о досъемке/пересъемке проблемных участков.

5.8.2.1. Контроль плотности выполняется отдельно для точек вне перекрытий и внутри перекрытий ТЛО.

5.8.2.2. Оценка точности ТЛО оценивается для точек внутри маршрутов, для межмаршрутных перекрытий, для контрольных точек с известными координатами.

5.8.3. В руководящих указаниях по контролю качества для каждого этапа должны быть конкретизированы: способ проверки (визуальный, интерактивный, автоматический); объем проверки (сплошной, выборочный); оцениваемые показатели качества; процедуры, эталоны и критерии, используемые для оценки; документы, формируемые в результате контроля качества; ответственные за выполнение контроля.

5.8.4. Приемочный контроль выполняется после завершения камеральной обработки с соблюдением основных форм контроля:

- полноты покрытия съемочных участков и обеспечения их границ;
- комплектности материалов и правильность их оформления;
- количественных характеристик контролируемых параметров;
- соответствие характеристик техническим требованиям, предъявляемым к материалам.

5.8.5. Технический отчет по результатам лазерного сканирования должен включать следующие разделы: введение; физико-географическая характеристика района работ; методика и технология выполнения работ и результаты лазерного сканирования; сведения по контролю качества и приемке работ; заключение; перечень использованных нормативных документов.

Приложение 1 (справочное)

Классификация систем лазерного сканирования

Таблица 1 Классификация систем лазерного сканирование

Принцип классификации систем лазерного сканирования	Варианты систем
По мобильности	Стационарные
	Мобильные (авиационные, автомобильные, железнодорожные, водные, перемещаемые оператором)
По месту применения	Воздушные
	Наземные
	Внутри помещений
По среде проникновения	Односредные
	Многосредные
По принципу измерения расстояния	Импульсные
	Фазовые
По дальности действия	Короткобазисные
	Длиннобазисные
По виду оптической развертки	Строчные
	Пилообразные
	Эллиптические
По количеству волн излучения	Одноволновые
	Многоволновые
По дивергенции лазерного луча	С широкой дивергенцией
	С узкой дивергенцией
По показателю отношения сигнал/шум	Высокой мощности
	Низкой мощности
По способу записи и обработки сигналов	С обработкой формы волны
	Без обработки формы волны

Приложение 2

(рекомендуемое)

Примеры технического оснащения систем воздушного лазерного сканирования

1. Пример технического оснащения системы воздушного лазерного сканирования для пилотируемого воздушного судна

Воздушное судно:

- диапазон высот полета: 400—5000 м;
- диапазон крейсерской скорости: 150—300 км/ч;
- количество фотолюков: 1—2;
- максимальное время полета: до 6 ч;
- максимальная скорость бокового ветра: до 15 м/с.

Лидар:

- максимальная высота съемки: до 5000 м;
- угол сканирования: 60°;
- частота импульсов: не менее 2 МГц;
- частота сканирования: не менее 300 Гц;
- количество принимаемых отражений: не менее 15;
- СКП определения плановых координат: не более 1/8000 от высоты полета; - СКП определения высот точек местности: не более 1/12000 от высоты полета.

Аэрофотокамера:

- размер сенсора: 150—400 Мп;
- угол поля зрения: 45°—60°;
- интервал съемки: 1 кадр/с;
- наличие гиростабилизированной платформы.
- ИИУ/ГНСС-система:

а) электронно-оптическое инерциальное измерительное устройство, используемое в составе блока определения положения и ориентации или отдельно для определения угловых элементов внешнего ориентирования снимков, должно обеспечивать:

1) среднеквадратические погрешности:

- по крену и тангажу — не более 0,0025°;
- по курсу — не более 0,005°;

2) среднеквадратическую погрешность определения положения не более 0,02 м;

3) частоту измерений — не менее 500 Гц;

б) для определения координат центров проекции снимков (точек фотографирования) должен использоваться многочастотный, мультисистемный ГНСС-приемник или OEM-модуль (плата), удовлетворяющий следующим требованиям:

1) частота измерений — не менее 10 Гц; при наличии ИИУ допускается использовать ГНСС-приемник с частотой 2 Гц,

2) возможность проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей,

3) возможность представления сырых данных спутниковых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя ГНСС-приемника в обменный формат RINEX.

2. Пример технического оснащения системы воздушного лазерного сканирования для беспилотного воздушного судна среднего класса

Беспилотный летательный аппарат:

- тип БЛА среднего класса: самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой;
- тип двигателей: гибридный;
- максимальная полезная нагрузка: 10 кг;
- диапазон высоты полета: 150—3000 м;
- диапазон крейсерской скорости: 90—180 км/ч;
- максимальное время полета: до 8 ч;

- максимальная скорость бокового ветра: до 12 м/с.

Лидар:

- максимальная высота съемки: 150—1400 м;
- угол сканирования: 75°;
- частота импульсов: не менее 1,2 МГц;
- частота сканирования: не менее 400 Гц;
- количество отражений: не менее 2;
- СКП определения плановых координат: не более 1/10000 от высоты полета; - СКП определения высот точек местности: не более 1/10000 от высоты полета; - масса не более 5 кг (с ИИУ/ГНСС).

Аэрофотокамера с АФУС:

- размер сенсора: 100—150 Мп;
- угол поля зрения: 45°—60°;
- интервал съемки: 1 кадр/с;
- аэрофотоустановка: стабилизированный подвес; - масса: не более 2,5 кг.
- ИИУ/ГНСС-система:

При оснащении беспилотного воздушного судна к ИИУ и ГНСС-системам должны предъявляться следующие основные требования:

а) электронно-механическое инерциальное измерительное устройство, должно удовлетворять следующим требованиям:

1) среднеквадратические погрешности:

- по крену и тангажу не должны превышать 0,01°;
- по курсу — не более 0,02°;

2) среднеквадратическая погрешность определения положения не более 0,02 м;

3) частота измерений — не менее 400 Гц;

б) для определения координат центров проекции снимков (точек фотографирования) должен использоваться многочастотный, мультисистемный ГНСС-приемник или OEM-модуль (плата), удовлетворяющий следующим требованиям:

1) частота измерений — не менее 10 Гц;

2) возможность проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей;

3) возможность представления сырых данных спутниковых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя ГНСС-приемника в обменный формат RINEX;

в) общий вес ИИУ и ГНСС-систем не должен превышать 2,5 кг;

г) в случае использования метода RTK для бортовых спутниковых определений координат точек фотографирования должна обеспечиваться бесперебойная связь от корректирующей станции с задержкой передачи информации не более 5 с.

3. Пример технического оснащения системы воздушного лазерного сканирования для беспилотного летательного аппарата малого класса

Воздушное судно:

- тип БЛА малого класса: самолетного типа с вертикальным взлетом и посадкой;
- тип двигателей: гибридный, электрический;
- максимальная полезная нагрузка: 5 кг;
- диапазон высоты полета: 100—1500 м;
- диапазон крейсерской скорости: 60—120 км/ч;
- максимальное время полета: до 4 ч;
- максимальная скорость бокового ветра: до 12 м/с.

Лидар:

- максимальная высота съемки: 450 м;
- угол сканирования: 100°;
- частота импульсов: не менее 1,2 МГц;
- частота сканирования: не менее 400 Гц;

- количество отражений: не менее 15;
- СКП определения плановых координат: не более 1/1800 от высоты полета; - СКП определения высот точек местности: не более 1/3000 от высоты полета; - масса: не более 4 кг (с ИИУ/ГНСС).

Аэрофотокамера с АФУС:

- размер сенсора: 40—100 Мп;
- угол поля зрения: 50°—70°;
- интервал съемки: 5 кадр/с;
- аэрофотоустановка: стабилизированный подвес; - масса: не более 1 кг.

ИИУ/ГНСС-система:

При оснащении беспилотного воздушного судна к ИИУ и ГНСС-системам должны предъявляться следующие основные требования:

а) электронно-механическое инерциальное измерительное устройство, используемое в состав блока определения положения и ориентации или отдельно для определения угловых элементов внешнего ориентирования снимков, должно удовлетворять следующим требованиям:

1) среднеквадратические погрешности:

- по крену и тангажу не должны превышать 0,01°;
- по курсу — не более 0,02°;

2) среднеквадратическая погрешность определения положения не более 0,02 м;

3) частота измерений — не менее 400 Гц;

б) для определения координат центров проекции снимков (точек фотографирования) должен использоваться многочастотный, мультисистемный ГНСС-приемник или OEM-модуль (плата), удовлетворяющий следующим требованиям:

1) частота измерений — не менее 10 Гц;

2) возможность проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей;

3) возможность представления сырых данных спутниковых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя ГНСС-приемника в обменный формат RINEX;

в) общий вес ИИУ и ГНСС-систем не должен превышать 2,5 кг;

г) в случае использования метода RTK для бортовых спутниковых определений координат точек фотографирования должна обеспечиваться бесперебойная связь от корректирующей станции с задержкой передачи информации не более 5 с.

Приложение 2 **(рекомендуемое)**

Примеры технического оснащения систем наземного лазерного сканирования

1. Пример технического оснащения системы МЛС

Автомобиль:

– тип: седан, внедорожник.

Лидар:

– максимальная дальность измерений: 475 м;

– угол сканирования: 360°;

– частота сканирования: не менее 500 сканов/с;

– частота импульсов: не менее 1,8 МГц;

– количество отражений: не менее 7;

– СКП определения пространственных координат: не более 50 мм; - масса: не более 40 кг.

ИИУ/ГНСС-система:

При оснащении МЛС к ИИУ и ГНСС-системам должны предъявляться следующие основные требования:

а) электронно-механическое инерциальное измерительное устройство, должно удовлетворять следующим требованиям:

1) среднеквадратические погрешности:

– по крену и тангажу не должны превышать 0,005°;

– по курсу — не более 0,015°;

2) обеспечение возможности предоставления данных измерений ИИУ для постобработки в составе сырых данных бортового комплекса определения положения и ориентации или в виде отдельного файла;

б) для вычисления траектории движения мобильной платформы должен использоваться двухчастотный, мультисистемный ГНСС-приемник, удовлетворяющий следующим требованиям: частота измерений — до 10 Гц;

– возможность проводить кодовые и фазовые измерения псевдодальностей;

– возможность представления сырых данных спутниковых наблюдений, а также преобразования исходных данных спутниковых наблюдений из формата производителя ГНСС-приемника в обменный формат RINEX;

в) общий вес ИИУ и ГНСС-систем не должен превышать 2,5 кг.

2. Пример технического оснащения системы стационарного лазерного сканирования

Лидар:

– максимальная дальность измерений: 1000 м;

– угол сканирования: Г360°/ В105°;

– частота импульсов: не менее 2,2 МГц;

– количество отражений: не менее 10;

– СКП определения пространственных координат: не более 5 мм; - масса: не более 15 кг.

3. Пример технического оснащения системы переносного лазерного сканирования

Лидар:

– максимальная дальность измерений: 100 м;

– угол сканирования: Г360°/ В200°;

– частота сканирования: не менее 600 кГц;

– СКП определения пространственных координат: не более 50 мм; - масса: не более 32 кг.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] ГОСТ Р 71863-2-24 Фототопография. Лазерное сканирование.;
- [2] ГОСТ Р 70078-2022 Программно-аппаратный комплекс аэрофототопографической съемки с использованием беспилотного воздушного судна. Технические требования;
- [3] ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования;

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Нормативные ссылки	4
2. Термины и определения.....	4
3. Обозначения и сокращения	6
4. Общие положения	7
4.1. Классификация и состав систем лазерного сканирования	7
4.2. Основные характеристики систем лазерного сканирования.....	8
4.3. Условия использования систем лазерного сканирования.....	9
5. Общие требования к технологическим процессам лазерного сканирования	11
5.1. Состав технологических процессов лазерного сканирования.....	11
5.2. Общие требования к проектированию воздушного лазерного сканирования.....	11
5.2.2. Общие требования к проектированию воздушного лазерного сканирования.....	11
5.2.3. Общие требования к проектированию наземного лазерного сканирования (мобильного, стационарного и переносного)	13
5.3. Общие требования к подготовительным работам.....	14
5.3.1. Общие требования к подготовительным работам по воздушному лазерному сканированию.....	14
5.3.2. Общие требования к подготовительным работам по наземному лазерному сканированию.....	15
5.4. Общие требования к геодезическому обеспечению лазерного сканирования.....	15
5.4.1. Общие требования к геодезическому обеспечению воздушного лазерного сканирования.....	15
5.4.2. Общие требования к геодезическому обеспечению наземного лазерного сканирования.....	15
5.5. Общие требования к лазерному сканированию объекта съёмки.....	16
5.5.1. Общие требования к воздушному лазерному сканированию объекта съёмки.....	16
5.5.2. Общие требования к наземному лазерному сканированию объекта съёмки.....	17
5.6. Общие требования к обработке материалов лазерного сканирования	17
5.6.1. Общие требования к обработке материалов воздушного лазерного сканирования	17
5.6.2. Общие требования к обработке материалов наземного лазерного сканирования.....	18
5.7. Общие требования к результатам обработки материалов лазерного сканирования и продуктов, получаемых на их основе.....	18
5.8. Общие требования к контролю, оформлению результатов и составлению отчета.....	19
Приложение 1 (рекомендуемое) Примеры технического оснащения систем воздушного лазерного сканирования.....	20
Приложение 2 (рекомендуемое) Примеры технического оснащения систем наземного лазерного сканирования.....	24
Библиография	25