

**Санкт–Петербургский государственный университет**

***СОКОЛОВ Кирилл Александрович***

**Выпускная квалификационная работа**  
**ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО**  
**МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И**  
**КАДАСТРАХ**

Уровень образования: бакалавриат

Направление 21.02.03 «Землеустройство и кадастры»

Основная образовательная программа СВ.5121.2019 «Кадастр  
недвижимости: оценка и информационное обеспечение»

Научный руководитель:

к.т.н., доцент, ВОЛКОВ Алексей Васильевич

Рецензент:

генеральный директор ООО «ГЕОСТЭП»,  
БАХНОВ Виктор Александрович

Санкт-Петербург

2023 г.

**Аннотация.** В данной работе проводится исследование в области пространственного моделирования с уклоном в сбор пространственных данных. В работе раскрыта концепция цифрового землеустройства и возможности применения наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии для сбора пространственных данных. Продемонстрированы преимущества применения наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии как совокупности методов перед использованием каждого из методов по отдельности. Проведен анализ российской и зарубежной нормативно-правовой базы, выявлены различия в подходах при составлении документов. Составлена классификация сканирующих систем и выделены их основные технические характеристики. Собрана информация о фирмах производителях сканирующих систем. Описан технологический процесс применения наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии на примере парка Просвещения, расположенного на территории города Санкт-Петербург.

**Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование, цифровая фотограмметрия, цифровое землеустройство, классификация сканирующих систем, технологии пространственного моделирования.

**Annotation.** In this paper, a study on spatial modelling with a bias towards spatial data collection is carried out. The article reveals the concept of digital land management and the possibility of using terrestrial laser scanning and digital photogrammetry for spatial data collection. The advantages of using terrestrial laser scanning and digital photogrammetry as a set of methods before using each method separately have been demonstrated. The analysis of the Russian and foreign legal framework was carried out, the differences in the approaches to the drafting of documents were revealed. The classification of scanning systems has been made and their main technical characteristics have been allocated. Information about the manufacturers of scanning systems has been collected. The technological process of application of terrestrial laser scanning and digital photogrammetry using the example of the Enlightenment Park located on the territory of Saint Petersburg is described.

**Keywords:** terrestrial laser scanning, digital photogrammetry, digital land management, classification of scanning systems, spatial modelling technologies.

# Содержание

Список принятых сокращений . . . . .	5
Введение . . . . .	7
<b>Глава 1. Обзор и анализ нормативно-правовых документов и научной литературы в области пространственного моделирования в России и за рубежом . . . . .</b>	<b>8</b>
1.1. Правовое регулирование обращения с пространственными данными и приоритетные направления развития Российской Федерации . . . . .	8
1.2. Концепция цифрового землеустройства . . . . .	12
1.3. Правовое регулирование методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в России и за рубежом	15
1.4. Сравнение Российской и зарубежной нормативно-правовой базы в области наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии . . . . .	25
<b>Глава 2. Анализ использования методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в области пространственного моделирования . . . . .</b>	<b>29</b>
2.1. Примеры реализации концепции цифрового землеустройства	30
2.2. Технологии пространственного моделирования . . . . .	32
2.3. Анализ использования метода наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в области пространственного моделирования . . . . .	33
<b>Глава 3. Практическая проверка методов цифровой фотограмметрии и наземного лазерного сканирования на примере парка Просвещения . . . . .</b>	<b>38</b>
3.1. Описание технологического процесса применения ЦФГМ и НЛС . . . . .	41
3.2. Анализ практического применения метода цифровой фотограмметрии и наземного лазерного сканирования для сбора пространственных данных . . . . .	49

<b>Заключение</b> . . . . .	53
<b>Список литературы</b> . . . . .	55
<b>Приложение А. Классификация сканирующих систем</b> . . . . .	58
<b>Приложение Б. Технические характеристики сканирующих систем</b>	69
<b>Приложение В. Информация о фирмах производителях сканиру- ющих систем</b> . . . . .	71

## Список принятых сокращений

1. ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли;
2. ОКС — объекты капитального строительства;
3. ЕЭКО — единая электронная картографическая основа;
4. ИСОГД — информационные системы обеспечения градостроительной деятельности;
5. АФС — аэрофотосъемка;
6. ЦФГМ — цифровая фотограмметрия;
7. НЛС — наземное лазерное сканирование;
8. ПВП — планово-высотная подготовка;
9. ФФПД — федеральный фонд пространственных данных;
10. ОТ — опорная точка;
11. КТ — контрольная точка;
12. ЦМР — цифровая модель рельефа;
13. ТЛО — точки лазерного отражения;
14. TIN — Triangulation Irregular Network;
15. ЦММ — цифровая модель местности;
16. NLIS — National Land Information System;
17. ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система;
18. ГИС — геоинформационная система;
19. NGA — National Geospatial-Intelligence Agency;

20. FAA — Federal Aviation Administration;

21. NLD — National Lidar Dataset;

22. ASPRS — American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

## Введение

Актуальность работы обусловлена острой необходимостью к переходу информации в цифровое поле в связи с глобальной цифровизацией, постоянным увеличением потока информации и необходимостью в короткий срок собрать большое количество пространственных данных согласно национальным целям Российской Федерации. Для решения этих задач необходимо применение современных технологий по сбору пространственных данных и создание единого модульного сервиса, позволяющего наладить коммуникацию между исполнителями различных структур, хранить и эффективно оперировать пространственными данными.

Цели работы заключаются в обзоре и анализе нормативно правовой базы и научной литературы, описании концепции «Цифрового землеустройства» и технологии по сбору пространственных данных, основывающейся на методах наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии.

Для реализации вышеописанных целей были сформулированы следующие задачи:

- описать концепцию «Цифрового землеустройства»;
- провести обзор и анализ нормативных документов в России и за рубежом в области пространственного моделирования;
- проанализировать использование методов пространственного моделирования в России и за рубежом;
- составить классификацию и выделить основные технические характеристики сканирующих систем;
- выявить основные недостатки и достоинства методов;
- на основе выявленных достоинств и недостатков предложить варианты использования каждого метода или совокупности методов;
- описать технологию по сбору пространственных данных основывающейся на методах наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии на примере парка Просвещения в г. Санкт-Петербург.

# **Глава 1. Обзор и анализ нормативно-правовых документов и научной литературы в области пространственного моделирования в России и за рубежом**

## **1.1 Правовое регулирование обращения с пространственными данными и приоритетные направления развития Российской Федерации**

Правила и требования по созданию и использованию геоинформационных ресурсов строго регламентируются принятыми нормативными актами. Это установлено рядом нормативно-правовых актов:

- Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 30.12.2015 № 431-ФЗ [2];
- «О лицензировании геодезической и картографической деятельности» от 28.10.2016 № 1099 [3];
- Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2016 г. N 1131 «Об утверждении Правил создания и обновления единой электронной картографической основы» [4];
- Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2016 г. N 1370 «Об утверждении Правил предоставления заинтересованным лицам сведений единой электронной картографической основы» [5];
- Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2016 г. N 1371 «Об утверждении Правил определения размера платы за использование сведений единой электронной картографической основы» [6].

В целом, можно отметить, что принятием этих нормативно-правовых актов осуществляется управление в картографической отрасли государством. Важный момент процесса — определение права собственности на геоинформационные ресурсы. В помощь этому создается и утверждается правовой статус государственного фонда пространственных данных и единой электронной картографической основы .

Правовой статус федерального фонда пространственных данных закреплён в статье 11 вышеупомянутого закона о геодезии и картографии. Наряду с федеральным могут создаваться региональные фонды пространственных данных по решению высшего исполнительного органа государственной власти субъекта РФ (ст. 10). Ведение указанного фонда осуществляется государственным учреждением субъекта РФ — фондодержателем регионального фонда пространственных данных. Кроме того, допускается создание государственных ведомственных фондов пространственных данных, полученных в результате организации геодезических и картографических работ специальными федеральными органами исполнительной власти. Для решения локальных задач, актуальных для муниципальных образований и проживающих на их территориях граждан, разрабатываются муниципальные ГИС, создаваемые за счёт средств местного бюджета.

Информация, содержащаяся во всех этих фондах, является официальной. Порядок включения дополнительных данных и материалов в федеральный или региональные фонды пространственных данных устанавливается Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).

Единая электронная картографическая основа представляет собой систематизированную совокупность пространственных данных о территории Российской Федерации, не содержащая закрытой информации (ст. 20). Требования к ее созданию, обновлению и составу сведений, к техническим и программным средствам также обеспечивает Росреестр.

Ценность государственных информационных ресурсов заключается в их объективности, точности, возможности ссылки на них при осуществлении самой разнообразной хозяйственной и общественной деятельности. На их основе создаются публичные кадастровые карты, планы территориального развития регионов и генеральные планы городов, осуществляются навигационные услуги в рамках российской спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС.

В соответствии с п. 1 ст. 1259 Гражданского кодекса Российской Федерации (ГК РФ [1]) «географические и другие карты, планы, эскизы и пластические произведения, относящиеся к географии и к другим наукам, являются

объектами авторских прав». Цифровая база данных признается объектом интеллектуальной деятельности, который также обеспечивается правовой охраной (ст. 1225 ГК РФ).

Государственные (федеральные и региональные) и муниципальные геоинформационные системы имеют особое значение для пользователей, как проверенный источник информации. Специально уполномоченные государственные или муниципальные органы и подведомственные им учреждения берут на себя ответственность за ее достоверность и актуальность. Но не следует забывать о том, что создание и обновление таких систем, переработка массивов данных спутниковых снимков, поддержание актуальности сведений требуют работы целых коллективов исполнителей и, естественно, немалых материальных затрат. Ведомственные геоинформационные системы, как правило, создаются для решения социальных или экономических вопросов, для поддержания безопасности государства и общества. Средства поступают из соответствующего бюджета. Поэтому вполне закономерно, что правообладатель предоставляет производимую им картографическую продукцию и связанную с ней информацию за определенную плату, особенно, если речь идет о ее дальнейшем коммерческом использовании.

Так, картографические и топографические материалы, аэросъемка и космоснимки, базы данных, содержащие отнесенную к ним информацию, полученные за счет средств федерального бюджета, являются собственностью РФ. Распоряжение исключительным правом на эти объекты интеллектуальной собственности осуществляет специально уполномоченный орган в области геодезии и картографии – Росреестр. Распоряжаясь собственностью страны, Правительство Российской Федерации устанавливает порядок и способы предоставления заинтересованным лицам геоинформации, а также порядок определения размера платы за ее использование в соответствии с вышеуказанными документами. Заключить договор и получить необходимые для использования сведения можно через геопортал пространственных данных Российской Федерации (<http://nsdi.ru/geoportal>), который создан для предоставления физическим и юридическим лицам сведений единой электронной картографической основы, пространственных данных и материалов, а также сведений, подлежащих представлению с использованием координат.

Государственные и муниципальные геоинформационные системы имеют публичное значение и создаются для решения общественных задач. Несомненно, что, являясь объектами интеллектуальной собственности, они охраняются законом от неправомерного использования. Полномочия государственного надзора за использованием материалов федерального картографо-геодезического фонда закреплены за Росреестром, который также представляет интересы Российской Федерации по охране исключительных прав на картографические материалы, являющиеся государственной собственностью.

Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [9] был определен ряд направлений развития страны:

- сохранение населения, здоровье и благополучие людей;
- возможности для самореализации и развития талантов;
- комфортная и безопасная среда для жизни;
- достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство;
- цифровая трансформация.

Направление «Цифровая трансформация», подразумевает под собой достижение «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики, социальной сферы, образования, здравоохранения и государственного управления.

Вместе с тем, Постановление Правительства от 5 марта 2021 г. № 331 [7] обязало застройщиков обеспечить формирование и ведение информационных моделей объектов капитального строительства, финансируемых за счет государственных средств. Это постановление должно стимулировать переход на BIM проектирование, что подразумевает под собой использование пространственно-информационных моделей, как основополагающих данных для ведения BIM.

В соответствии с последними тенденциями строительства и законодательства, неся в себе множество метрической и семантической информации об объекте капитального строительства, формирование и использование BIM-моделей применяется все чаще. В то же время, BIM моделирование остается

довольно дорогостоящей нуждой строительных сфер, что указывает на актуальность его полноценного и всестороннего использования не только на стадии проектирования и строительства объекта, но и на дальнейших стадиях его эксплуатации.

В соответствии с поддерживаемой тенденцией к цифровизации, Постановлением Правительства от 1 декабря 2021 г. № 2148 [8], была утверждена государственная программа Российской Федерации "Национальная система пространственных данных". Мероприятия, предлагаемые к реализации в рамках Программы, направлены, в том числе, на создание единой электронной картографической основы, мониторинг ее актуальности, обновление и предоставление доступа к пространственным данным.

Остается открытым вопрос эффективного применения пространственных данных. Ответом на него может стать инновационная концепция цифрового землеустройства.

## **1.2 Концепция цифрового землеустройства**

Цифровое землеустройство — это комплекс инновационных методов и технологий, направленных на оптимизацию землепользования и управления земельными ресурсами. Цифровое землеустройство основано на использовании информационных технологий и геоданных для управления земельными ресурсами, включая учет земельного фонда, контроль за использованием земель, планирование землепользования, управление геопространственными данными и другие задачи. Это позволяет повысить эффективность использования земельных ресурсов, сократить временные и финансовые затраты на проведение землеустройства, а также снизить вероятность ошибок в процессе принятия решений.

Основная идея цифрового землеустройства заключается в том, чтобы сделать управление землей более эффективным, прозрачным и доступным для всех заинтересованных сторон. Для этого используются различные цифровые инструменты и технологии, такие как геоинформационные системы (ГИС), дистанционное зондирование, глобальная навигационная спутниковая сеть и другие.

Цифровое землеустройство можно разделить на три основных уровня:

1. технический;
2. информационный;
3. функциональный.

Каждый уровень состоит из определенных компонентов, которые могут варьироваться в зависимости от конкретной задачи и применяемых технологий [15].

Технический уровень включает в себя следующие компоненты:

- техническая инфраструктура, включающая средства сбора, обработки и хранения данных;
- геоданные и геоинформационные системы (ГИС), которые используются для визуализации, анализа и управления пространственными данными;
- системы навигации и позиционирования (ГНСС), которые обеспечивают точность и надежность определения координат;
- информационные технологии, используемые для автоматизации процессов сбора, обработки и анализа данных.

Информационный уровень включает в себя:

- базы данных, в которых хранятся пространственные и неспецифические данные, например, данные о границах участков, землепользовании, растительности и т.д.;
- цифровые модели, которые отображают пространственную структуру и атрибуты земельных участков и объектов на земле;
- сервисы, которые обеспечивают доступ и использование цифровой информации, например, сервисы визуализации и анализа геоданных.

Функциональный уровень включает в себя следующие компоненты:

- алгоритмы и модели, используемые для анализа и прогнозирования изменений в землепользовании, оценки рисков и принятия решений;
- государственные и муниципальные информационные системы, которые используются для обеспечения управления землепользованием и гео-данными;
- прикладные программы, которые используются для решения конкретных задач, например, определения зон риска природных катастроф, оценки земельных ресурсов и т.д.

Таким образом, структура цифрового землеустройства включает в себя множество компонентов, которые взаимодействуют между собой и в совокупности позволяют увеличить эффективность управления землей.

Можно выделить некоторые факторы, связанные с необходимостью применения цифрового землеустройства:

1. Увеличение населения и потребности в земельных ресурсах: рост населения и увеличение потребностей в жилье, производстве продовольствия и других видов деятельности приводят к увеличению спроса на земельные ресурсы. Цифровое землеустройство позволяет эффективно управлять земельными ресурсами, оптимизировать их использование и улучшать планирование.
2. Глобальные вызовы, такие как изменение климата и бедствия: изменение климата и бедствия, такие как наводнения, лесные пожары и землетрясения, могут повлиять на земельные ресурсы и землепользование. Цифровые технологии, включая цифровое землеустройство, могут помочь в адаптации к изменениям климата и быстром реагировании на бедствия.
3. Необходимость улучшения планирования и развития: Цифровое землеустройство позволяет улучшить планирование и развитие земельных ресурсов, что в свою очередь способствует устойчивому развитию экономики и общества.

4. Необходимость увеличения прозрачности и доступности данных: Цифровое землеустройство способствует сбору, хранению и анализу большого количества данных, связанных с земельными ресурсами. Это улучшает прозрачность и доступность данных, что необходимо для эффективного управления землей.

Важнейшей частью цифрового землеустройства и пространственного моделирования являются пространственные данные. Существует множество методов, которые позволяют получать пространственные данные. В представленной работе будут рассмотрены методы цифровой фотограмметрии и наземного лазерного сканирования. Однако, для начала анализа этих методов стоит обратиться к нормативно-правовым документам, которые регулируют эти области.

### **1.3 Правовое регулирование методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в России и за рубежом**

Итак, для начала необходимо выделить все основные документы, которые регулируют применение методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии:

- ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования [12];
- ГОСТ Р 58854-2020 Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий [13];
- ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования [14];
- ГОСТ Р 8.794-2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Сканеры лазерные наземные. Методика поверки [11];
- Приказ Минстроя России от 30 марта 2022 г. №221/пр «Об утверждении Методики определения нормативных затрат на информационное моде-

лирование с учетом использования технологий лазерного сканирования и фотограмметрии» [10].

**ГОСТ Р 59328-2021** "Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования" является документом, устанавливающим технические требования к проведению аэрофотосъемки, используемой для создания топографических карт и планов.

Документ состоит из двух частей: общих положений и технических требований. В общих положениях определяются основные понятия и термины, используемые в ГОСТе, а также основные требования к проведению аэрофотосъемки. В технических требованиях устанавливаются конкретные требования к техническим средствам, используемым при аэрофотосъемке, а также к самой съемке и ее результатам.

Среди основных требований к аэрофотосъемке можно выделить следующие:

- определение цели и задач аэрофотосъемки;
- выбор оптимальных условий проведения съемки;
- использование специального оборудования и программного обеспечения для обработки и анализа полученных фотографий;
- учет дисторсий изображения при обработке данных.

Технические требования к аэрофотосъемке включают в себя такие показатели, как разрешающая способность, масштаб, геометрическая точность и цветовая точность. Кроме того, ГОСТ устанавливает требования к качеству фотографических материалов, оборудованию для аэрофотосъемки, а также к обработке и хранению данных.

Таким образом, ГОСТ Р 59328-2021 определяет стандарты для аэрофотосъемки топографической информации, что является важным инструментом для создания и обновления топографических карт и планов, необходимых для различных отраслей экономики, строительства, градостроительства, и, конечно, землеустройства.

Документ **ГОСТ Р 58854-2020** "Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий" содержит рекомендации по созданию ориентированных аэроснимков и описывает технические требования, необходимые для создания качественных стереомоделей застроенных территорий.

В документе определены основные термины, используемые в фотограмметрии, а также приведены требования к техническим характеристикам оборудования для выполнения аэрофотосъемки, таким как камеры, объективы, фотоматериалы и др. Также в документе содержатся требования к планированию и выполнению аэрофотосъемки, включая определение оптимальных условий освещения и погодных условий.

Особое внимание уделено процессу ориентирования аэроснимков, который является ключевым этапом при создании стереомоделей застроенных территорий. В документе описываются различные методы ориентирования, такие как метод наземных ориентиров, метод дифференциальной коррекции и метод глобального позиционирования (GPS).

Документ также содержит требования к точности и качеству создаваемых ориентированных аэроснимков, включая требования к уровню детализации, разрешающей способности и контрастности изображений.

Таким образом, ГОСТ Р 58854-2020 устанавливает стандарты и требования, необходимые для создания высококачественных ориентированных аэроснимков, которые могут использоваться для создания стереомоделей застроенных территорий. Этот документ является важным руководством для профессионалов в области фотограмметрии и других областей, которые используют аэрофотосъемку для создания стереомоделей и картографических продуктов.

**ГОСТ Р 59562-2021** "Съемка аэрофототопографическая. Технические требования" является государственным стандартом, который устанавливает требования к техническим характеристикам и методам съемки при создании аэрофототопографических карт.

Стандарт определяет требования к качеству и содержанию аэрофотосъемки, а также описывает методы съемки, обработки и представления результатов. В документе приводятся технические характеристики съемочных

приборов, включая оптические системы, камеры и дроны, а также требования к качеству фотоматериалов.

Стандарт также регулирует процедуры калибровки приборов и обработки изображений для создания карт, включая требования к геодезической основе, точности измерений, устранению искажений и созданию трехмерных моделей.

ГОСТ Р 59562-2021 является важным регуляторным документом в области аэрофототопографической съемки, который помогает обеспечить единообразие и качество данных, а также повысить эффективность использования геоинформационных технологий в различных областях, таких как землеустройство, геология, экология, лесное хозяйство и другие.

Документ **ГОСТ Р 8.794-2012** "Государственная система обеспечения единства измерений. Сканеры лазерные наземные. Методика поверки" устанавливает методику проведения поверки лазерных наземных сканеров, которые используются для определения геометрических характеристик объектов на земной поверхности.

Согласно документу, поверка сканеров должна проводиться в специальных лабораториях, оборудованных современным оборудованием, которое позволяет проводить точные измерения. Методика поверки включает в себя описание необходимых измерений и испытаний, а также требования к их проведению.

В документе приводятся основные параметры, которые должны быть проверены при поверке сканеров, такие как частота излучения лазера, точность измерения дальности и угла сканирования, разрешающая способность сканера и др. Также в документе указываются требования к оборудованию, используемому при поверке, и описываются процедуры, необходимые для обеспечения точности и достоверности результатов поверки.

Цель данного документа заключается в обеспечении единства измерений при использовании лазерных наземных сканеров и повышении качества измерительных данных, получаемых с их помощью.

**Приказ Минстроя России от 30 марта 2022 г. №221/пр** «Об утверждении Методики определения нормативных затрат на информационное моделирование с учетом использования технологий лазерного сканирования и

фотограмметрии» определяет методику определения нормативных затрат на информационное моделирование объектов капитального строительства с использованием технологий лазерного сканирования и фотограмметрии.

Методика определяет нормативные затраты на информационное моделирование объектов капитального строительства с использованием лазерного сканирования и фотограмметрии. Помимо этого, она определяет порядок определения показателей нормативных затрат и стоимости работ, связанных с информационным моделированием.

Вышеописанная методика призвана обеспечить единый подход к определению нормативных затрат на информационное моделирование, что упростит и ускорит процесс утверждения проектной и сметной документации. Также методика способствует повышению качества информационного моделирования объектов капитального строительства и повышению эффективности использования лазерного сканирования и фотограмметрии в процессах проектирования и строительства.

Таким образом, на текущий момент в России нормативно-правовые документы, регулирующие области наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии охватывают лишь малую область из всех возможных. Это показывает необходимость большой и плодотворной работы в этом направлении. На текущий момент идет активная разработка документов в области наземного лазерного сканирования, но пока ни один из них не был утвержден.

Теперь перейдем к зарубежным нормативно-правовым документам. Так как документов, регулирующих область лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в зарубежных странах очень много, мы остановимся только на США и Европе и выделим самое основное.

В США использование лазерного сканирования регулируется различными документами и стандартами, изданными различными организациями. Некоторые из важных документов и стандартов, относящихся к лазерному сканированию в США, следующие:

- ASTM E57.02 Standard: этот стандарт охватывает минимальные требования к лазерным сканерам, используемым для получения данных

- трехмерного облака точек для проектов гражданской инфраструктуры;
- National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) Lidar Base Specification: В этой спецификации изложены требования к получению, обработке и доставке лидарных данных для проектов, финансируемых NGA;
  - Federal Aviation Administration (FAA) regulations: FAA регулирует использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или дронов, которые обычно используются для сбора лидарных данных. FAA имеет специальные правила для работы беспилотников, включая ограничения по высоте и траектории полета;
  - USGS National Lidar Dataset (NLD): геологическая служба США собирает и распространяет лидарные данные. NLD предоставляет бесплатный доступ к лидарным данным по всей территории США;
  - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS): ASPRS — это профессиональная организация, которая разрабатывает стандарты и рекомендации для отрасли фотограмметрии и дистанционного зондирования. ASPRS разработало различные руководства, связанные с получением и обработкой лидарных данных.

Один из наиболее известных стандартов ASPRS - это «ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data», который определяет требования к точности позиционирования цифровых геопространственных данных. Данный стандарт включает в себя определение понятий точности, точности позиционирования, а также критериев, методов и процедур для оценки точности.

Еще один стандарт ASPRS - это «ASPRS LAS Specification», который определяет формат данных для хранения данных лазерного сканирования в облаках точек. Этот стандарт включает в себя описание формата файла, структуру данных, описание метаданных и принципы кодирования данных.

Третий стандарт - «ASPRS Digital Orthophoto Standard», который определяет требования к созданию и использованию цифровых ортофотопланов.

Этот стандарт включает в себя требования к исходным данным, методам обработки, точности и разрешению данных, а также к метаданным и формату данных.

Анализ данных стандартов показывает, что ASPRS разрабатывает стандарты, которые охватывают различные аспекты пространственного моделирования, включая точность позиционирования, форматы данных и стандарты создания ортофотопланов. Эти стандарты являются важными для обеспечения качества и совместимости данных, созданных различными организациями в области геопространственных технологий.

Если говорить о Европе, то нельзя не упомянуть документы ISO, которые прямым и косвенным образом регулируют деятельность пространственного моделирования:

- ISO 19111:2019 «Пространственные референциальные системы». Этот документ устанавливает требования к пространственным референциальным системам, используемым в геоинформационных системах. Важной частью этого стандарта являются определения координатной системы и ее точности, что является необходимым условием для применения методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии;
- ISO 19115:2019 «Информация и документация. Метаданные для геопространственных ресурсов». Этот стандарт определяет требования к метаданным для геопространственных ресурсов, включая данные, полученные при помощи наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии;
- ISO 19123:2005 «Схемы пространственного представления для обработки географических данных». Этот стандарт устанавливает требования к схемам пространственного представления географических данных. Схемы пространственного представления используются при моделировании и анализе данных;
- ISO/TR 19121:2017 «Информация и документация. Руководство по обеспечению качества данных геопространственных информационных си-

стем». Этот документ содержит рекомендации по обеспечению качества данных, используемых в геопространственных информационных системах;

- ISO 19138:2017 «Информация и документация. Характеристики качества геопространственных данных». Этот стандарт определяет характеристики качества геопространственных данных.

Также стоит отметить европейский проект EuroSDR, который занимается стандартизацией и разработкой методологий в области пространственных данных. Он выпустил несколько рекомендаций и стандартов в области наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии. Некоторые из них перечислены ниже:

- EuroSDR Technical Report «Terrestrial laser scanning in forest environments - recommendations for data acquisition, processing and analysis»: этот технический доклад содержит рекомендации по сбору, обработке и анализу данных, полученных с помощью наземного лазерного сканирования в лесной среде;
- EuroSDR Technical Report «Terrestrial laser scanning for engineering geomorphology mapping»: этот доклад описывает рекомендации по применению наземного лазерного сканирования для создания инженерно-геоморфологических карт;
- EuroSDR Technical Report «Quality control for image-based point clouds from aerial and terrestrial photogrammetry»: этот доклад описывает методы контроля качества для точечных облаков, полученных с помощью аэро- и наземной фотограмметрии;

EuroSDR Technical Report «Terrestrial laser scanning in forest environments - recommendations for data acquisition, processing and analysis» является документом, который содержит рекомендации по сбору, обработке и анализу данных, полученных с помощью лазерного сканирования на территориях лесных массивов. Документ предназначен для специалистов, занимающихся

изучением лесов и их состояния, в том числе для научных исследователей и организаций, занимающихся лесным хозяйством.

Доклад содержит описание основных принципов наземного лазерного сканирования, его достоинств и ограничений при работе в лесной среде. Рассматриваются основные проблемы, связанные с сбором данных в лесной среде, в том числе с преодолением шума и препятствий, возникающих при работе с деревьями, а также с преобразованием полученных данных в полезную информацию.

Документ содержит описание рекомендуемых методов сбора данных, таких как выбор оптимальных параметров сканирования, установка точек контроля и обеспечение высокой точности геореференцирования данных. Также рассматривается вопрос о необходимости проведения калибровки инструмента и использования дополнительных средств навигации.

В документе также подробно описываются методы обработки данных, такие как фильтрация, регистрация и сегментация, а также рекомендации по выбору наиболее подходящих алгоритмов для обработки данных в лесной среде. Рассматриваются возможности создания трехмерных моделей лесной растительности, а также возможности использования полученных данных для изучения экологических процессов в лесной среде.

Таким образом, документ EuroSDR Technical Report «Terrestrial laser scanning in forest environments - recommendations for data acquisition, processing and analysis» представляет собой важный исследовательский материал для ученых, занимающихся исследованием лесов и их состояния, а также для специалистов в области лесного хозяйства и охраны природы. Рекомендации, представленные в документе, могут быть использованы для оптимизации процессов сбора и обработки данных, полученных с помощью лазерного сканирования, в лесной среде.

EuroSDR Technical Report «Terrestrial laser scanning for engineering geomorphology mapping» представляет собой исследовательский доклад, в котором рассматриваются вопросы применения лазерного сканирования для инженерно-геоморфологического картирования. Он основывается на результатах обзора литературы и практических исследований в этой области.

В документе приводятся основные принципы и методы сбора данных

наземного лазерного сканирования в геоморфологии, а также рекомендации по обработке и анализу данных. Доклад охватывает такие темы, как выбор оборудования и его настройка, планирование и проведение съемок, обработка и классификация данных, а также визуализация результатов.

В качестве примеров рассмотрены приложения наземного лазерного сканирования для создания цифровых моделей рельефа, картирования опасных участков, мониторинга деформаций и анализа грунтовых осадков. Приводятся примеры использования лазерного сканирования в различных геологических условиях, включая ледники, горные склоны, речные долины и морские берега.

В докладе обсуждаются ограничения и проблемы, связанные с применением наземного лазерного сканирования в геоморфологии, включая проблемы с точностью и шумом данных, проблемы с обработкой больших объемов данных и ограничения в доступности некоторых областей. В целом, доклад представляет собой ценный ресурс для исследователей и практиков, интересующихся применением лазерного сканирования в инженерно-геоморфологическом картировании.

EuroSDR Technical Report «Quality control for image-based point clouds from aerial and terrestrial photogrammetry» описывает методы контроля качества точечных облаков, полученных при использовании аэрофотограмметрических и терестрических методов. Документ предназначен для сотрудников в области геодезии и картографии, которые работают с облаками точек и занимаются контролем качества данных.

В документе рассматриваются различные методы контроля качества, включая проверку соответствия точек физическому объекту, сравнение точек с моделью поверхности, определение погрешности локализации точек и проверку точности относительного расположения точек.

Также в документе приводятся рекомендации по выбору наилучших практик для контроля качества данных и осуществления проверки точности, основанные на результатах проведенных исследований и опыте использования данных методов.

Кроме того, документ описывает преимущества и недостатки различных методов контроля качества, включая их эффективность, точность и удоб-

ство использования. Рекомендации, представленные в документе, могут помочь улучшить качество данных и повысить эффективность работы с точечными облаками, полученными при использовании аэрофотограмметрических и терестрических методов.

#### **1.4 Сравнение Российской и зарубежной нормативно-правовой базы в области наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии**

Для сравнения мы выбрали два документа, которые регулируют процесс аэрофотосъемки: американский ASPRS Standards for Aerial Photography and Photogrammetry и российский ГОСТ Р 59328-2021.

Оба вышеупомянутых документа содержат требования к аэрофотосъемке. Однако, они отличаются как в структуре, так и в подробностях.

Сходства:

- оба документа содержат требования к аэрофотосъемке и показателям качества получаемой продукции;
- в обоих документах указывается, что аэрофотосъемка должна проводиться с использованием специализированной аппаратуры, а также с использованием определенных параметров настроек оборудования;
- оба документа подчеркивают важность проведения калибровки оборудования и контроля качества снимков;
- в обоих документах требуется, чтобы процедуры обработки данных осуществлялись в соответствии с определенными стандартами.

Различия:

- Структура документов различна. Standards for Aerial Photography and Photogrammetry представлен в виде руководства, в то время как ГОСТ Р 59328-2021 имеет форму стандарта;
- ГОСТ Р 59328-2021 более детально описывает требования к аппаратуре, используемой для аэрофотосъемки, а также требования к установке оборудования на воздушном судне;

- в Standards for Aerial Photography and Photogrammetry больший акцент на анализе изображений и показателях точности, в то время как в ГОСТ Р 59328-2021 больше внимания уделяется требованиям к организации и проведению аэрофотосъемки;
- в Standards for Aerial Photography and Photogrammetry подробно описываются процедуры оценки качества продукции, в то время как в ГОСТ Р 59328-2021 большее внимание уделяется требованиям к оформлению отчетности и документации;
- Standards for Aerial Photography and Photogrammetry более подробно описывает процедуры оценки точности, в то время как в ГОСТ Р 59328-2021 более подробно описаны процедуры калибровки оборудования;
- в Standards for Aerial Photography and Photogrammetry указывается, что аэрофотосъемка должна проводиться в соответствии с требованиями заказчика, в то время как в ГОСТ Р 59328-2021 заказчик не упоминается явно.

В целом, оба документа содержат множество сходных требований, таких как использование камер высокого разрешения, обеспечение геодезической привязки и контроля качества снимков. Однако, есть и некоторые различия в подходах и деталях.

Например, Standards for Aerial Photography and Photogrammetry уделяет больше внимания техническим аспектам и детальному описанию процессов съемки, обработки и контроля качества, а также предоставляет рекомендации по выбору оборудования. В то время как ГОСТ Р 59328-2021 больше уделяет внимания требованиям к качеству фотографий и техническим параметрам оборудования, таким как разрешение камеры, точность геодезической привязки и угол обзора.

Кроме того, Standards for Aerial Photography and Photogrammetry предоставляет более детальное описание методов обработки изображений и оценки качества фотографий, включая рекомендации по выбору методов обработки и контроля качества. В ГОСТ Р 59328-2021 больше уделяется внимание тре-

бованиям к контролю качества снимков и их геодезической привязке. Таблица со сравнением этих документов представлена в таблице 1.

**Таблица 1:** Сравнение Standards for Aerial Photography and Photogrammetry с ГОСТ Р 59328-2021

	Standards for Aerial Photography and Photogrammetry	ГОСТ Р 59328-2021
Область применения	Документ предназначен для установления стандартов съемки и обработки аэрофотоснимков и фотограмметрических измерений	Документ устанавливает требования к организации и проведению геодезических и топографических работ
Точность измерений	В документе приведены рекомендации по оценке точности фотограмметрических измерений	ГОСТ определяет требования к точности измерений при выполнении геодезических и топографических работ
Параметры камеры	В документе определены требования к характеристикам камеры, которые используются при аэрофотосъемке	ГОСТ определяет требования к техническим характеристикам и точности измерительных приборов, используемых при выполнении геодезических и топографических работ
Контроль качества	Документ описывает методы контроля качества аэрофотосъемки и фотограмметрических измерений	ГОСТ определяет требования к контролю качества выполненных геодезических и топографических работ
Обработка данных	Документ предоставляет рекомендации по обработке данных аэрофотосъемки и фотограмметрических измерений	ГОСТ определяет требования к обработке результатов геодезических и топографических работ
Точность геодезических измерений	Описываются конкретные методы и требования к точности при геодезических измерениях, включая высоту и координаты точек, погрешности векторов и триангуляции	Описываются общие требования к точности измерений без конкретизации методов и погрешностей
Требования к фотографическому материалу	Описываются требования к размеру кадра, резкости изображений, контрастности, шуму, разрешению и качеству сканирования	Описываются общие требования к размеру кадра и разрешению, но без уточнения других параметров
Методы и процедуры обработки изображений	Описываются методы обработки фотографических изображений, включая измерение координат точек, триангуляцию, определение ориентации камеры, ректификацию и коррекцию искажений	Описываются общие требования к обработке изображений без конкретизации методов
Требования к пространственным моделям	Описываются требования к созданию пространственных моделей, включая точность и прочность модели, форматы данных и геодезические системы координат	Описываются общие требования к пространственным моделям без уточнения требований к точности

## **Глава 2. Анализ использования методов наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в области пространственного моделирования**

В этой работе рассмотрены методы пространственного моделирования, которые направлены на сбор пространственных данных. Так как методов очень много, мы кратко рассмотрим общие технологии и выделим оттуда некоторые методы, которые, на наш взгляд, являются самыми эффективными и которые были проверены нами на практике.

Все технологии можно описать следующим образом:

- дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — включает в себя методы изучения свойств объектов на поверхности Земли путем получения и анализа данных, собранных из дистанционно размещенных источников. Эти методы позволяют измерять физические, химические и биологические характеристики объектов, такие как высота, форма, температура, содержание влаги и другие. Из самых популярных методов в этой группе можно выделить фотограмметрию, лазерное сканирование и получение информации со спутников;
- глобальная навигационная спутниковая сеть (ГНСС) — это система, которая обеспечивает местоположение и навигацию в реальном времени с использованием спутниковых сигналов. GNSS состоит из спутников, которые обращаются вокруг Земли, и приемников, которые используют эти сигналы для определения своего местоположения и ориентации. Этот метод широко используется в навигации, геодезии, картографии, транспорте и других областях.
- географические информационные системы (GIS) — это компьютерные системы, используемые для управления, анализа и отображения географической информации. Они объединяют данные о расположении объектов (например, зданий, дорог, рек и так далее) с другой информацией (например, социальной, экономической, экологической), чтобы понимать, как они взаимодействуют. GIS может быть использована для принятия решений, планирования, анализа рисков и управления ресурсами

в различных областях, включая землеустройство, охрану окружающей среды, геологию и транспорт.

На практике нам удалось проверить методы наземного лазерного сканирования, цифровой фотограмметрии и ГНСС технологию. Об этом написано в третьей главе представленной работы.

## **2.1 Примеры реализации концепции цифрового землеустройства**

Примеров реализации концепции цифрового землеустройства не так много, так как эта концепция является инновационной и достаточно сложной с технической и организационной точек зрения. Однако, в январе 2023 года вышла статья «Digital twins and land management in South Korea» [17], которая рассказывает о том, как южнокорейское правительство использует концепцию «цифровых двойников» для улучшения управления земельными ресурсами и градостроительства в стране.

В статье описывается, как южнокорейский государственный агент по землеустройству, геодезии и картографии (LAA) внедряет технологии цифровых двойников для улучшения управления земельными ресурсами. В частности, LAA создал цифровую платформу для интеграции данных и анализа землепользования, которая использует технологию цифровых двойников для создания виртуальных моделей городов и территорий.

Статья описывает, как эта платформа может быть использована для поддержки различных аспектов управления земельными ресурсами, включая планирование землепользования, оценку земельных ресурсов и принятие решений в области градостроительства. Также обсуждается, какие преимущества принесет использование цифровых двойников в землеустройстве, такие как повышение эффективности процессов управления, улучшение прогнозирования и мониторинга изменений землепользования, улучшение прозрачности и точности данных, а также улучшение сотрудничества между различными заинтересованными сторонами в области земельных ресурсов.

упоминается цифровая платформа для интеграции данных и анализа землепользования, называемая "National Land Information System (NLIS)".

Эта платформа была разработана южнокорейским правительством для обеспечения более эффективного управления землепользованием и защиты окружающей среды.

Основными функциями NLIS являются интеграция геопроостранственных данных, обеспечение доступа к информации о земельных участках, а также анализ данных и прогнозирование. Кроме того, платформа предоставляет инструменты для управления геоданными, включая возможность создания цифровых карт и моделей поверхности земли.

Одной из ключевых особенностей NLIS является использование технологии "цифровых двойников". Это позволяет создавать точные цифровые копии объектов реального мира, таких как здания, дороги, земельные участки и другие объекты, что позволяет более точно анализировать и прогнозировать изменения в окружающей среде.

В целом, NLIS предоставляет интегрированную платформу для управления землепользованием, которая может быть использована для различных целей, в том числе — землеустроительных.

Цифровая платформа для интеграции данных и анализа землепользования, упоминаемая в этой статье, состоит из следующих компонентов:

- геопроостранственной базы данных: это централизованное хранилище геопроостранственных данных, включая данные о землепользовании, карты, аэрофотоснимки и другие данные;
- системы автоматической классификации землепользования: эта система использует алгоритмы машинного обучения и другие технологии для автоматической классификации землепользования на основе геопроостранственных данных;
- системы мониторинга землепользования: эта система использует данные дистанционного зондирования и другие источники информации для мониторинга изменений в землепользовании и оценки его влияния на окружающую среду;
- платформы для анализа землепользования: это инструменты для анализа и визуализации данных о землепользовании, которые позволяют

принимать решения на основе этих данных;

- портала для обмена информацией: это онлайн-платформа для обмена информацией между различными заинтересованными сторонами, включая правительственные органы, научные учреждения, бизнес и общественность;
- системы управления проектами: это инструменты для управления проектами по землепользованию, которые обеспечивают мониторинг прогресса, контроль бюджета и распределение задач между участниками проекта;
- подсистема "цифрового двойника": это интеграция моделей землепользования с геопространственными данными, которая позволяет создавать цифровые двойники территорий, используя моделирование и визуализацию в 3D;
- все эти компоненты взаимодействуют между собой, обеспечивая совместную работу между различными заинтересованными сторонами в области землепользования.

Такая платформа не может функционировать без первичных пространственных данных. Для их сбора необходимо применять соответствующие методы пространственного моделирования, которые будут рассмотрены далее.

## **2.2 Технологии пространственного моделирования**

В этой работе рассмотрены методы пространственного моделирования, которые направлены на сбор пространственных данных. Так как методов очень много, мы кратко рассмотрим общие технологии и выделим оттуда некоторые методы, которые, на наш взгляд, являются самыми эффективными и которые были проверены нами на практике.

Все технологии можно описать следующим образом:

- дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — включает в себя методы изучения свойств объектов на поверхности Земли путем получения и

анализа данных, собранных из дистанционно размещенных источников. Эти методы позволяют измерять физические, химические и биологические характеристики объектов, такие как высота, форма, температура, содержание влаги и другие. Из самых популярных методов в этой группе можно выделить фотограмметрию, лазерное сканирование и получение информации со спутников;

- глобальная навигационная спутниковая сеть (ГНСС) — это система, которая обеспечивает местоположение и навигацию в реальном времени с использованием спутниковых сигналов. GNSS состоит из спутников, которые обращаются вокруг Земли, и приемников, которые используют эти сигналы для определения своего местоположения и ориентации. Этот метод широко используется в навигации, геодезии, картографии, транспорте и других областях.
- географические информационные системы (GIS) — это компьютерные системы, используемые для управления, анализа и отображения географической информации. Они объединяют данные о расположении объектов (например, зданий, дорог, рек и так далее) с другой информацией (например, социальной, экономической, экологической), чтобы понимать, как они взаимодействуют. GIS может быть использована для принятия решений, планирования, анализа рисков и управления ресурсами в различных областях, включая землеустройство, охрану окружающей среды, геологию и транспорт.

На практике нам удалось проверить методы наземного лазерного сканирования, цифровой фотограмметрии и ГНСС технологию. Об этом написано в третьей главе представленной работы.

### **2.3 Анализ использования метода наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии в области пространственного моделирования**

Современный этап развития экономики страны требует значительно большего объема пространственной информации о территории. Все методы

сбора пространственной информации разделяются на контактные и бесконтактные. Причем вторые имеют ряд неоспоримых преимуществ по отношению к первым, а именно:

- возможность использования в особоопасных и недоступных территориях без ущерба и вреда здоровью человека (исполнителям работ);
- значительно более высокий потенциал автоматизации процесса измерения;
- возможность выполнения измерения с подвижных носителей;
- гораздо больший объем получаемой исходной информации;
- значительно меньшие трудозатраты и трудовые ресурсы при выполнении измерений.

В свою очередь из всего многообразия бесконтактных методов съемки наиболее перспективными являются активные системы сбора информации, так как они обладают рядом преимуществ по отношению к пассивным:

- всепогодность использования;
- нет необходимости в дополнительных источниках освещения, т. е. возможность использования как в дневное так и в ночное время суток;
- измерение дальности до объектов местности, а следовательно получать
- трехмерные координаты в процессе съемки;
- узкий спектральный диапазон (практически монохроматичный) создает условия для более полного учета влияния атмосферы в результатах измерений.

Лазерное сканирование используется для получения пространственной информации об объектах местности благодаря свойствам лазеров, таким как когерентность излучения, монохроматичность и узкая расходимость пучка, что обеспечивает более точные и детальные данные по сравнению с другими

съемочными системами. В связи с этим, наибольший интерес для получения такой информации представляют системы сбора информации.

Кроме того, повышенные потребности отраслей экономики требуют представления пространственной информации в трехмерном виде с учетом сопоставимой точности получения данных по высоте и в плане, детальности получаемых трехмерных моделей и возможности решения инженерных и управленческих задач с помощью трехмерной цифровой модели, включающей топологически связанные математические модели объектов и семантическую информацию о них.

Для выполнения всех этих условий и обеспечения потребностей современного общества необходимо использовать приборы лазерного сканирования, однако в настоящее время не существует единых и комплексных решений на основе системных принципов для их использования.

Функции лазерного сканирования можно описать следующим образом:

1. создание трехмерной геоинформационной модели;
2. пространственный анализ данных лазерного сканирования
3. моделирование территории;
4. сбор данных;
5. получение семантической информации;
6. визуализация;
7. создание цифровых карт.

В нашей работе мы остановимся на функции сбора данных.

Теперь перейдем к цифровой фотограмметрии, статья «Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy» [18] описывает методологию генерации цифровых моделей рельефа (ЦММ) на основе фотограмметрии с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с низкой стоимостью.

В статье описывается эксперимент, в котором использовался БЛА Phantom 3 Advanced с камерой DJI FC300X для получения изображений земной поверхности. Были проведены испытания с разными настройками камеры и полетов на различных высотах и углах склонения. Изображения были обработаны с помощью программного обеспечения Agisoft PhotoScan для создания 3D-моделей поверхности и генерации ЦММ.

В статье подробно описываются различные этапы обработки данных, такие как калибровка камеры, создание ортофотопланов, создание облака точек, а также процедуры, используемые для создания ЦММ. Также описываются различные инструменты, используемые для оценки точности ЦММ, такие как сравнение с данными GPS и существующими ЦММ, анализ погрешности, создание контуров и анализ изменений высоты в различных зонах.

В результате эксперимента было установлено, что использование низкобюджетных БЛА и камер может привести к достаточно точным ЦММ, хотя точность может колебаться в зависимости от настроек и условий полета. Были получены результаты средней точности, которые позволяют использовать полученные ЦММ для различных инженерных и геологических задач.

В целом, статья представляет собой интересное исследование, показывающее возможности использования БЛА и фотограмметрии для создания ЦММ. Описанные методологии и инструменты могут быть полезны для специалистов в области геодезии, геологии, инженерных и других смежных областей, которые занимаются созданием ЦММ для своих проектов.

Статья «A Prospect of Digital Airborne Photogrammetry Approach for Cadastral Mapping in Nepal» [19] описывает возможности применения цифровой аэрофотограмметрии для кадастрового картографирования в Непале.

В статье приведен обзор текущих методов картографирования в Непале и проблем, связанных с точностью и доступностью кадастровых карт. Затем описывается методика сбора данных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и использования цифровой аэрофотограмметрии для создания карт. Приводится описание процесса сбора данных, включая выбор оборудования и камеры, определение параметров полета и аэрофотограмметрической обработки.

В результате проведенных экспериментов было показано, что цифро-

вая аэрофотограмметрия с помощью БПЛА позволяет создавать кадастровые карты с высокой точностью и детализацией, что существенно повышает эффективность и точность процесса картографирования. Также были выявлены некоторые проблемы, связанные с выбором оборудования и камеры, а также с ограничениями связанными с метеорологическими условиями.

В целом, статья показывает, что применение цифровой аэрофотограмметрии с помощью БПЛА может быть эффективным способом для кадастрового картографирования в Непале. Однако, прежде чем широко внедрять этот метод, необходимо учитывать различные технические и организационные проблемы, такие как выбор оборудования, подготовка персонала и разработка процессов обработки данных.

В статье были выявлены следующие проблемы:

- выбор камеры. Камера должна иметь достаточно высокое разрешение и обеспечивать достаточную чувствительность для работы в слабом свете. Однако использование камеры слишком высокого разрешения может привести к проблемам с обработкой данных и увеличению времени обработки;
- выбор оборудования. Необходимо учитывать характеристики оборудования при выборе методов съемки и обработки данных. Например, для выполнения задач кадастрового картографирования требуется высокоточное оборудование;
- ограничения, связанные с метеорологическими условиями. В зависимости от условий метеорологии, таких как облачность и туман, качество снимков может существенно изменяться. Кроме того, ветер и другие метеорологические факторы могут повлиять на точность позиционирования и ориентации снимков. Эти факторы могут привести к потере данных или уменьшению качества изображения;
- проблемы с обработкой данных. Обработка большого количества данных, полученных в результате аэрофотосъемки, является сложной задачей. Для обработки данных требуется мощное программное обеспечение и вычислительные ресурсы, что может оказаться недоступным для

многих пользователей. Кроме того, необходимо обеспечить высокую точность и достоверность данных, что требует дополнительных затрат на калибровку и верификацию данных.

### **Глава 3. Практическая проверка методов цифровой фотограмметрии и наземного лазерного сканирования на примере парка Просвещения**

В качестве объектов проведения работ выступал комплекс памятников архитектуры — дачи М.Н.Бенуа (Объект №1) (рис. 2), А.А.Грубе (Объект №2) (рис. 3), Л.И.Крона (Объект №3) (рис. 4), Парк поселка Просвещения в Петергофе (Объект №4). Расположение дач показано на рисунке 1.



**Рис. 1:** Расположение дач

Работы разделились на три этапа:

1. предварительный;
2. полевой;
3. камеральный.

В общем виде, каждый этап работ ставит перед собой следующие задачи:

1. Предварительный этап: получение информации об Объектах съемки для дальнейшего проведения работ.
2. Полевой этап:
  - (а) получение облаков точек внутренней части и фасада Объекта №1 методом наземного лазерного сканирования;
  - (б) получение снимков Объектов №1–3 для дальнейшего построения облаков точек методом цифровой фотограмметрии;
  - (с) определение координат опорных пунктов и марок, расклеенных на фасадах Объектов в местной системе координат.
3. Камеральный этап:
  - (а) сшивка и уравнивание облаков точек, полученных методом наземного лазерного сканирования;
  - (б) получение облака точек методом цифровой фотограмметрии;
  - (с) совмещение облаков точек, полученных методами наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии на Объекте №1.
  - (d) привязка облаков точек к местной системе координат.

После проведения предварительного этапа работ была получена информация об Объектах, которая позволила выбрать оптимальные методы для выполнения работ. Этими методами стали: наземное лазерное сканирование и цифровая фотограмметрия.

Вышеупомянутые методы позволят получить большое количество легко воспринимаемых данных. В результате обработки этих данных мы получим «цифровые двойники» Объектов №1–3, которые представляют из себя сшитые и уравненные облака точек. Подробно остановимся только на полевом и камеральном этапе.

В ходе работ использовалась система координат (далее — местная система координат) — МСК–1964, система высот — Балтийская 1977.



**Рис. 2:** Дача Бенуа, внешний вид спереди



**Рис. 3:** Дача Грубе, внешний вид



**Рис. 4:** Дача Крона, внешний вид

### **3.1 Описание технологического процесса применения ЦФГМ и НЛС**

#### **Техника, оборудование и программное обеспечение**

Съемка всех объектов выполнена беспилотным воздушным судном DJI Mavic 2 Pro.

Съемка фасада и внутренних помещений Объекта №1 выполнена наземным лазерным сканером Z+F IMAGER 5010.

Определение опорных пунктов производилось GNSS приемником Sokkia GRX2 от сети дифференциальных станций «ГЕОСПАЙДЕР». Право на использование данных сети подтверждено публичным договором-оферты с оператором сети «ГЕОСПАЙДЕР».

Координаты марок, расклеенных на фасадах, были получены с помощью тахеометра SOKKIA CX-102.

Для создания ортофотоплана использовались веб-приложение для по-

строения полетных заданий «Fly Teofly» и программа-исполнитель полетного задания «Litchi».

Обработка полученных данных производилась в программном обеспечении «Agisoft Metashape Professional», «Z+F LaserControl», «Leica Cyclone 3DR», «ScanIMAGER Professional».

### **Полевой этап**

Опорные пункты на участке работ представляют собой систему из пунктов, полученных путем проведения спутниковых наблюдений методом «быстрой статики» с помощью сети дифференциальных станций «ГЕОСПАЙДЕР» в местной системе координат. Пункты отображены на рис. 5.



**Рис. 5:** Опорные пункты на ортофотоплане местности

Для получения ортофотоплана местности был составлен полетный маршрут в веб-приложении «Fly Teofly» (примерная схема полета отображена на рис. 6).



**Рис. 6:** Схема полета

Вышеупомянутое приложение строить маршрут на основе следующих параметров для полета БВС:

- скорость полета;
- высота полета;
- разрешение (сантиметр/пиксель);
- продольное и поперечное перекрытия снимков;
- угол наклона камеры;

Помимо вышеперечисленного, необходимо учитывать настройки камеры, которые задаются в устройстве управления самим БВС. Достижение оптимального качества изображения напрямую связано с компромиссом между экспозицией, диафрагмой и чувствительностью ISO. При обработке изображений необходимо стремиться к их резкости и минимальному уровню шума. Это можно достичь, исключая использование рассеянных облаков и настроив параметры камеры наиболее эффективно. Изображения, снятые в условиях, когда параметры камеры неправильно настроены или имеются рассеянные облака, могут быть более шумными и менее резкими, что негативно сказывается на точности получаемых результатов.

Мы можем выделить некоторые общие рекомендации:

- значения диафрагмы могут варьироваться в зависимости от используемого объектива, существуют минимальные и максимальные значения. Высокая диафрагма соответствует низким числам, например, f2.8, что позволяет пропускать больше света. При одновременной регулировке выдержки и ISO рекомендуется оставить диафрагму в режиме автоматического контроля;
- необходимо выбрать оптимальные настройки для достижения высокого качества изображений. Важно установить фиксированное значение выдержки, чтобы предотвратить размытие изображения. Чувствительность ISO следует установить на низкий уровень, чтобы избежать появления шумов на изображении. Для обеспечения правильной экспозиции в различных условиях освещения рекомендуется использовать автоматическую настройку диафрагмы. Если выбран неправильный компромисс между этими параметрами, могут возникнуть переэкспонированные или недоэкспонированные изображения, что отрицательно скажется на качестве результирующих снимков;
- необходимо установить фиксированную скорость затвора на среднем уровне (например, от 1/300 секунды до 1/800 секунды), чтобы предотвратить размытие изображений. Если более 5% изображения содержат направленное размытие, это сигнализирует о необходимости незначительного увеличения скорости затвора;
- рекомендуемый режим фокусировки — ручная фокусировка на бесконечность. Этот режим фокусировки всегда должен давать сфокусированные изображения.
- чувствительность ISO должна быть установлена на минимальное значение (не ниже 100). Высокие значения ISO обычно приводят к появлению шумов на изображениях и значительному снижению качества результатов;

В нашем случае полет выполнялся на высоте 150м и мы получили ортофотоплан с разрешением 3.5 см/пикс (рис. 7).



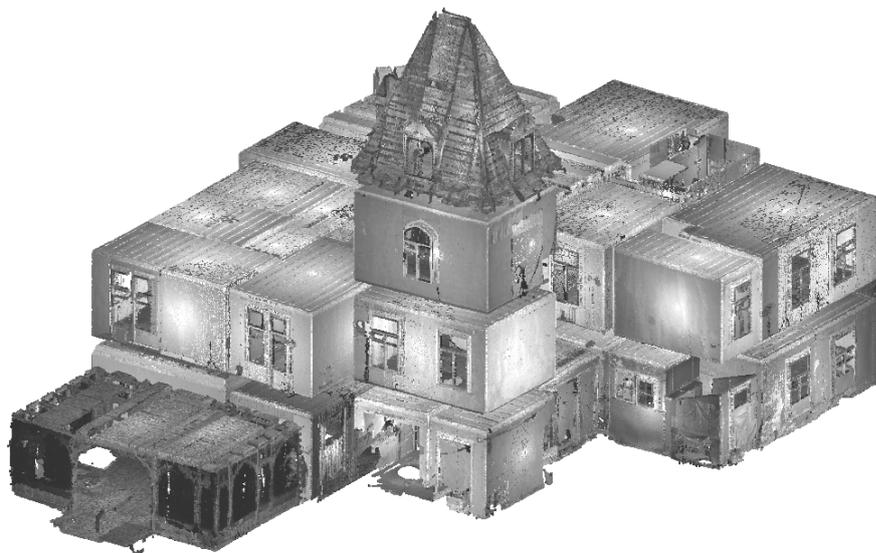
**Рис. 7:** Ортофотоплан

Далее, с помощью тахеометра были получены координаты марок на фасадах Объектов №1–3 (пример одной из марок на рис. 8). В дальнейшем марки с известными координатами будут использованы для привязки облаков точек к внешней системе координат.



**Рис. 8:** Марка на облаке точек, полученным методом цифровой фотограмметрии

Метод наземного лазерного сканирования был применен при съемке внутренней и внешней частей дачи Бенуа. Внутренняя часть состояла из 1, 2 этажей и башни (пример на рис. 9), внешняя часть — фасад.



**Рис. 9:** Облако точек дачи Бенуа, полученное методом наземного лазерного сканирования

При съемке внешней части точки стояния были расположены вдоль здания таким образом, чтобы максимально сократить количество «слепых зон». При съемке внутренней части точки стояния сканера были в каждой комнате и коридорах.

Метод цифровой фотограмметрии был применен при съемке фасадов Объектов №1–3. Главным преимуществом цифровой фотограмметрии является передача реального цвета и получение данных в труднодоступных местах, например, на крыше (рис. 10).



**Рис. 10:** Облако точек дачи Бенуа, полученное методом цифровой фотограмметрии

На полевом этапе выполнения работ были получены облака точек Объекта №1 методом наземного лазерного сканирования и снимки для дальнейшего построения облака точек методом цифровой фотограмметрии. Также, были определены координаты опорных пунктов и марок, расклеенных на фасадах в местной системе координат для дальнейшей привязки облаков точек к местной СК.

### **Камеральный этап**

Задачами камерального этапа работ являются:

1. сшивка и уравнивание облаков точек, полученных методом наземного лазерного сканирования;
2. получение облака точек методом цифровой фотограмметрии;
3. совмещение облаков точек, полученных методами наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии на Объекте №1;
4. привязка облаков точек к местной системе координат.

Облака точек, полученные методом цифровой фотограмметрии, были сформированы в ПО «Agisoft Metashape Professional» и приведены к реальному масштабу в программе «ScanIMAGER Professional».

Сшивку облаков точек осуществлялась с помощью расклеенных марок в помещении и на фасаде Объекта №1 в программном обеспечении «Z+F LaserControl». Итоговая точность сшивки представлена в таблице 2.

Совмещение облаков точек, полученных методами наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии на Объекте №1 было выполнено с помощью фасадных марок в ПО «ScanIMAGER Professional».

Привязка облаков точек Объектов №1–3 к местной СК осуществлялась в программе «ScanIMAGER Professional» с помощью марок с известными координатами, расклеенных на фасадах. Точность привязки указана в таблице 2.

Показатели точности приведены в таблице 2. Все значения указаны в миллиметрах. Номера Объектов приведены в соответствии с пунктом 1.2 этого документа.

**Таблица 2:** Показатели точности

№	Вид работ	Номер Объекта	Показатель точности, мм
1	Определение координат опорных пунктов	4	20
2	Привязка облака точек к местной СК	1	0.5
3	Привязка облака точек к местной СК	2	13.5
4	Привязка облака точек к местной СК	3	80
5	Точность сшивки облаков точек	1	1

В итоге, все задачи камерального этапа работ были выполнены и мы получили:

1. сшитое и уравненное облако точек в реальных цветах Объекта №1 в местной системе координат, полученное методом наземного лазерного

сканирования и цифровой фотограмметрии;

2. приведенные к реальному масштабу и в реальных цветах облака точек Объектов №2–3 в местной системе координат, полученные методом цифровой фотограмметрии.

Итак, весь технологический процесс в общем виде продемонстрирован на рис. 11.



**Рис. 11:** Технологическая схема создания пространственной модели

В следующем параграфе будет проведен анализ полученных результатов методом наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии.

### **3.2 Анализ практического применения метода цифровой фотограмметрии и наземного лазерного сканирования для сбора пространственных данных**

Для начала сравним 2 облака точек, полученных методами НЛС (рис. 12) и ЦФГМ (рис. 13). Для получения максимально достоверной оценки изображительных и точностных характеристик, мы обрезали крышу дома, так как для наземного лазерного сканера это является недоступной площадью. Мы учтем это в дальнейшем.



**Рис. 12:** Облако, полученное методом наземного лазерного сканирования для сравнения



**Рис. 13:** Облако, полученное методом цифровой фотограмметрии для сравнения

Итак, сравнение:

- максимальное значение невязки — 1мм и 3мм для облаков, полученных методом НЛС и ЦФГМ соответственно;

- количество точек — 106256784 и 70353090 для облаков, полученных методом НЛС и ЦФГМ соответственно;

Мы видим, что метод наземного лазерного сканирования выигрывает в точности и плотности, но явно проигрывает в качестве изображений. На камеру сканирующей системы попадали солнечные лучи, из за чего цвета исказились. Возможности для настройки камеры у сканера нет. Помимо этого, стоит отметить, что съемка производилась на средних настройках плотности прибора.

Исходя из результатов проведенной практической работы, использованный метод совмещения гарантированно закрывает индивидуальные недостатки методов получения облака точек как НЛС, так и цифровой фотограмметрии. А именно, облако точек, полученное методом лазерного сканирования, обладает более высокой точностью и плотностью (что делает это облако измерительной моделью), когда как облако, полученное методом фотограмметрии, превосходит в визуальной подробности и передаче цветовых характеристик (что позволяет более точно передавать текстуру и рельеф).

Помимо данных параметров, метод цифровой фотограмметрии с использованием БВС целесообразнее применять при обследовании кровельной части объекта, а также частей объекта, являющихся труднодоступными. С другой стороны, метод лазерного сканирования, получающий облако точек в метрической системе, дает исходные данные о масштабе облака точек, полученного методом фотограмметрии. Исходя из этого, складывается вывод, что совместная модель будет отличаться в лучшую сторону, нежели модель, полученная на основе применения только одного из описываемых методов.

Если рассматривать эти методы по отдельности, то конкретно в области землеустройства более целесообразно использование метода цифровой фотограмметрии. Он позволяет получать информацию о территориях за более короткий промежуток времени. Наземное лазерное сканирование, в свою очередь, является наилучшим решением для задач, возникающих на всех стадиях строительства, начиная с изысканий и проектирования, контроля и мониторинга в процессе строительства и заканчивая периодом эксплуатации, в том числе оценка состояния объектов, инвентаризация, паспортизация зданий и

сооружений, расчет площадей и так далее.

## Заключение

Итак, в ходе работы были представлены решения поставленных мною задач:

- описание концепции «Цифрового землеустройства»;
- проведение обзора и анализа нормативных документов в России и за рубежом в области пространственного моделирования;
- проанализировано использование методов пространственного моделирования в России и за рубежом;
- составлена классификация и выделены основные технические характеристики сканирующих систем;
- выявлены основные достоинства и недостатки методов пространственного моделирования;
- на основе выделенных достоинств и недостатков методов предложены варианты использования каждого метода или совокупности методов;
- описана технология по сбору пространственных данных, основанная на методах наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии.

Методы наземного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрии показали высокую эффективность применения. Используя эти методы совместно, можно получать пространственные модели соответствующие требованиям различных видов землеустроительных работ. Эффективность методов позволит решить проблему с недостатком пространственных данных.

Помимо этого, необходимо развивать отечественное законодательство в области пространственного моделирования. Полностью перенять зарубежные документы не представляется возможным в связи с различием в подходах к составлению подобного рода документам. Однако, вполне возможно перенять опыт и построить свою законодательную базу в соответствии с потребностями и особенностями нашей страны.

В ходе комплексного освоения методов также стоит уделить внимание цифровизации землеустройства. Такие объемы постоянно обновляющихся данных должны где-то храниться, обрабатываться и использоваться. Для решения этой проблемы описана концепция «Цифрового землеустройства», пилотные проекты которого уже на сегодняшний день запущены в некоторых странах. Это неминуемое будущее, к которому мы все должны быть готовы.

## Список литературы

- [1] Гражданский кодекс Российской Федерации от 30.11.1994 № 51-ФЗ // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_law\\_5142/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_5142/)
- [2] Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 30.12.2015 № 431-ФЗ // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_191496/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191496/)
- [3] Постановление Правительства РФ от 28.07.2020 № 1126 «О лицензировании геодезической и картографической деятельности» (вместе с «Положением о лицензировании геодезической и картографической деятельности») // Система «КонсультантПлюс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_359052/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_359052/)
- [4] Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2016 г. № 1131 «Об утверждении Правил создания и обновления единой электронной картографической основы» // Система «Гарант» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71531410/>
- [5] Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2016 г. N 1370 «Об утверждении Правил предоставления заинтересованным лицам сведений единой электронной картографической основы» // Система «Гарант» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71567724/>
- [6] Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2016 г. N 1371 «Об утверждении Правил определения размера платы за использование сведений единой электронной картографической основы» // Система «Гарант» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71567782/>
- [7] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 "Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку

обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства"// Система «Правительство России» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/133174/>

[8] Постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Национальная система пространственных данных"// Система «Правительство России» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/137941/>

[9] Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 // Система «Президент России» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726>

[10] Приказ Минстроя России от 30 марта 2022 г. №221/пр «Об утверждении Методики определения нормативных затрат на информационное моделирование с учетом использования технологий лазерного сканирования и фотограмметрии // Система «Минстрой России» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/222099/>

[11] ГОСТ Р 8.794—2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Сканеры лазерные наземные. Методика поверки // Система «Гарант» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71473376/>

[12] ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования // Система «Кодекс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200178079>

[13] ГОСТ Р 58854-2020 Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомоделей застроенных территорий // Система «Кодекс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200173328>

- [14] ГОСТ Р 59562-2021 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования // Система «Кодекс» [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200179934>
- [15] Простякова, Е. И. Цифровое землеустройство - задачи и перспективы / Е. И. Простякова, А. И. Степанов, Г. А. Краснов // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2021. – № 1. – DOI 10.24411/2658-3569-2021-10004. – EDN DIZZTT.
- [16] Комиссаров, А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий : специальность 25.00.34 "Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Комиссаров Александр Владимирович. – Новосибирск, 2016. – 22 с. – EDN ZPZJTV.
- [17] JungHo Park, WonGeun Choi, TaeYun Jeong, JinJae Seo – Digital twins and land management in South Korea // Land Use Policy. – 2023. – ISSN 0264-8377.
- [18] Jiménez-Jiménez, Sergio Iván, Waldo Ojeda-Bustamante, Mariana de Jesús Marcial-Pablo, and Juan Enciso. 2021. "Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy" ISPRS International Journal of Geo-Information 10, no. 5: 285. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050285>
- [19] Tamrakar, Rabindra Man. 2012. «A Prospect of Digital Airborne Photogrammetry Approach for Cadastral Mapping in Nepal». Journal on Geoinformatics, Nepal 11 (December):1-6. <https://doi.org/10.3126/njg.v11i0.23109>.

## Приложение А. Классификация сканирующих систем

По модели:

- Surphaser
  1. 75HSX
  2. 80HSX
  3. 100HSX
  4. 10HSX
  5. 410HSX
  6. 400
  7. 75USR
  8. 10
- Faro
  1. Focus Premium 350
  2. Focus Premium 150
  3. Focus Premium 70
  4. Focus S150Plus
  5. Focus S70
  6. Focus S150
  7. Focus S350
  8. Focus S350Plus
  9. Freestyle 2
  10. Focus M70
  11. Focus 3D X130
  12. Focus 3D X330
  13. Focus Core
  14. Photon 120
- 3D digital corp
  1. Optix 500 L

2. Optix 500 M
3. Optix 500 S
4. Escan 2.0 Extended Base
5. Escan 2.0 Standard Base

- TOPCON

1. RD-M1
2. GTL-1000
3. GLS-2200
4. GLS-2000
5. IP-S3

- Maptek

1. XR3-CT
2. XR3-C
3. XR3-D
4. XR3-CD
5. SR3

- NextEngine

1. 3D Scanner

- Leica

1. BLK360
2. RTC360
3. P30
4. P40
5. P50
6. Pegasus:Two Ultimate
7. Pegasus:Two
8. Pegasus:Swift
9. Pegasus:Backpack

10. SPL100
  11. TerrainMapper-2
  12. BLK2GO
  13. LAS-XL
  14. LAS
- Trimble
    1. MX50
    2. MX9
    3. MX9
    4. Trimble X12
    5. Trimble X7
    6. Trimble TX8
    7. Trimble TX6
    8. Trimble SX12
  - Steinbichler
    1. Comet L3D
    2. Comet5 1.4M
    3. Comet5 2M
    4. Comet5 4M
    5. Comet5 11M
    6. Comet5 11M
    7. T-Scan CS
    8. T-SCAN 3
    9. T-SCAN 3
  - Zeiss
    1. GOM Scan 1
    2. T-SCAN
    3. T-SCAN Hawk

- Artec
  1. Leo
  2. Space Spider
  3. Ray
  4. Eva
  5. Eva Lite
  6. RoboticScan
  7. RoboticScan
- Creaform
  1. HandySCAN 3D
  2. MetraSCAN 3D
  3. HandyPROBE
  4. Go!SCAN SPARK
- EviXscan
  1. Quadro+
  2. Optima+ M
  3. FinePrecision
  4. WideRange 65
- Hexagon
  1. SmartScan
  2. StereoScan neo
  3. PrimeScan
  4. RS-SQUARED Area Scanner
  5. AS1
  6. RS6
  7. RS5
  8. RS4
  9. RS3

10. RS2
  11. RS1
  12. Absolute Arm 7-Axis
  13. Absolute Arm 6-Axis
  14. Absolute Arm Compact
- Shining3d
    1. FreeScan UE Pro
    2. FreeScan UE
    3. FreeScan Trak
    4. OptimScan-5M Plus Metrology 3D Scanner
    5. AutoScan Inspec
    6. RobotScan E0505 Robot Automatic 3D Scanning System
    7. OptimScan-5M Metrology 3D Scanner
  - Polyga
    1. H3
    2. V1
    3. Compact
    4. Carbon
  - Peel 3D
    1. peel 3
  - RevoPoint
    1. Pop
    2. Pop 2
    3. Mini
  - RIEGL
    1. VZ-600i
    2. VZ-400i
    3. VZ-2000i

4. VZ-4000
5. VZ-6000
6. VMR
7. VQ-780 II-S
8. VQ-780 II
9. VUX-1LR<sup>22</sup>
10. VQ-840-GL
11. VQ-840-G
12. VQ-1560 II-S
13. VQ-1560i-DW
14. VQ-1460
15. VQ-880-G II
16. VQ-880-GH
17. VQ-580 II-S
18. VQ-580 II
19. VQ-480 II
20. VP-1
21. VPX-1
22. VQX-1 Wing Pod
23. miniVUX-HA
24. VUX-1HA<sup>22</sup>
25. VMY-2
26. VMY-1
27. VMX-2HA
28. VMX-RAIL
29. VMQ-1HA
30. VMZ
31. PH-4000-SRH
32. PH-6000-SRH

33. PH-400
  34. PH-2000
  35. PH-VUX
  36. VZ-200
- Z+F
    1. IMAGER 5016
    2. IMAGER 5010X
    3. IMAGER 5010C
    4. IMAGER 5010
    5. IMAGER 5006EX
    6. PROFILER 9020C
    7. PROFILER 9020
    8. PROFILER 9012
    9. PROFILER 9012A
    10. PROFILER 9012M
  - AGM
    1. MC-1
    2. MC-3
    3. MC-5
    4. MC-7
    5. BC-35
    6. BC-55
  - DJI
    1. ZENMUSE L1
  - HottScan
    1. 3D-roomscanner
  - GreenValley
    1. LiAir 50N

2. LiAir 220N
  3. LiAir V70
  4. LiAir X3
  5. LiAir 250 PRO
  6. LiHawk
  7. LiEagle
  8. LiBackpack C50
  9. LiBackpack DGC50
  10. LiMobile Standard
  11. LiPod
  12. LiGrip
- Acuity Technologies
    1. ACCUPROFILE 820
    2. AL-500
    3. AL-500AIR
  - ZG
    1. RigelScan
    2. MarvelScan
    3. AltaScan
    4. AltairScan
    5. ZGScan
    6. HyperScan
    7. HyperScan Plus
    8. AutoMetric
    9. GScan
    10. MarvelProbe
  - Stonex
    1. X300

2. X150
  3. X100
  4. XH120 SLAM
  5. F6 HANDHELD
- Teledyne Geospatial
    1. PASS
  - Carlson Software
    1. Scan2K
    2. Scan750
  - CimCore
    1. Измерительные руки CimCore 7-осевые
    2. Измерительные руки CimCore 6-осевые
  - Aicon
    1. PrimeScan
    2. StereoScan
    3. smartSCAN-HE
  - RangeVision
    1. PRO
    2. Spectrum
    3. NEO
  - ScanTech
    1. AirGO Pro
    2. TrackScan-P42
    3. SIMSCAN
    4. iReal 2E Color
    5. iReal 2S Color
    6. KSCAN-Magic 2
    7. KSCAN-Magic

8. KSCAN20
  9. HSCAN771
  10. HSCAN331
  11. HSCAN300
  12. AXE-B11
  13. AXE-G7
  14. PRINCE335
  15. PRINCE775
- Scanform
    1. Scanform L5
  - Thor3D
    1. Calibry
    2. Calibry Mini

По контакту с объектом сканирования:

- контактные;
- бесконтактные.

По носителю:

1. наземные;
2. мобильные (бортовые);
3. ручные.

По активному элементу:

1. лазерные;
2. оптические.

По принципу определения дальностей:

- импульсные;

- фазовые;
- триангуляционные.

По способу измерения углов:

- с помощью штриховых дисков;
- с помощью комбинаторных шкал;
- с помощью кодовых шкал;
- с помощью импульсных дисков.

## **Приложение Б. Технические характеристики сканирующих систем**

Сгруппировать технические характеристики сканирующих систем можно следующим образом:

- По изобразительным свойствам:
  1. плотность облака точек;
  2. наличие фотокамеры;
  3. количество фотокамер.
- По измерительным свойствам:
  1. точность измерения расстояния;
  2. точность измерения углов;
  3. размер лазерного пятна.
- По продолжительности работы сканера:
  1. объем внутренней памяти;
  2. наличие порта для подключения внешней памяти;
  3. тип батареи;
  4. длительность работы от аккумулятора.
- По условиям, в которых может работать сканер:
  1. максимальная дальность сканирования;
  2. класс безопасности лазера;
  3. класс пылевлагозащиты;
  4. рабочая температура;
  5. поле зрения сканера;
  6. температура хранения.
- По автоматизации работы:
  1. наличие автоматической калибровки;
  2. наличие компенсатора;

3. наличие порта для дополнительного оборудования;
4. наличие электронного компаса;
5. наличие спутниковой навигации;
6. наличие встроенного высотомера;

## Приложение В. Информация о фирмах производителях сканирующих систем

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Surphaser	США	2002	Отсутствует	?	?



Рис. 14: Сканер Surphaser 400

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Faro	США	1981	Присутствует	?	?



**Рис. 15:** Сканер Faro Focus S150

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Торсон	Япония	1932	Присутствует	?	?



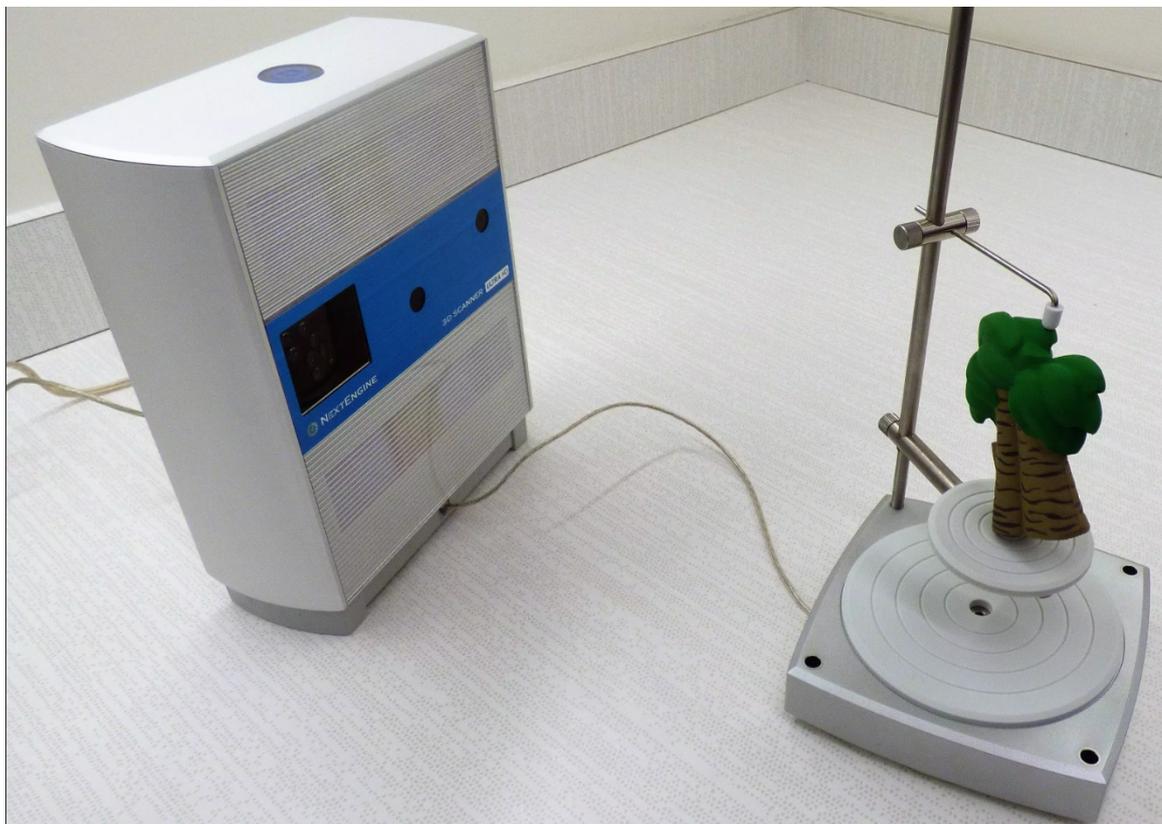
**Рис. 16:** Сканер Topcon GLS-2000

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Maptek	Австралия	1981	Отсутствует	?	?



**Рис. 17:** Сканер Maptek SR3

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
NextEngine	США	2000	Отсутствует	?	?



**Рис. 18:** Сканер NextEngine 3D Scanner

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Leica	Швейцария	1997	Присутствует	?	?



**Рис. 19:** Сканер Leica ScanStation P50



**Рис. 20:** Сканер Leica RTC360

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Trimble	США	1978	Присутствует	?	?



**Рис. 21:** Сканер Trimble X7



**Рис. 22:** Сканер Trimble X12



**Рис. 23:** Сканер Trimble TX8

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Artec3D	Люксембург	2007	Отсутствует	?	?



**Рис. 24:** Сканер Artec3D Ray

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
EviXscan 3D	Польша	2012	Отсутствует	?	?



**Рис. 25:** Сканер EviXscan 3D WideRange 65

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Shining3D	Китай	2004	Отсутствует	?	?



**Рис. 26:** Сканер Transcan C

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Polyga	Канада	—	Отсутствует	?	?



**Рис. 27:** Сканер Polyga Carbon



**Рис. 28:** Сканер Polyga Compact

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
RevoPoint	Китай	2014	Отсутствует	?	?



**Рис. 29:** Сканер RevoPoint Pop 2

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Riegl	Австрия	1982	Отсутствует	?	?



**Рис. 30:** Сканер RIEGL VZ-400i



**Рис. 31:** Сканер RIEGL VZ-600i



**Рис. 32:** Сканер RIEGL VZ-2000i



**Рис. 33:** Сканер RIEGL VZ-4000

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Z+F	Германия	1963	Отсутствует	?	?



**Рис. 34:** Сканер Z+F IMAGER5016

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
HottScan	Германия	—	Отсутствует	?	?



**Рис. 35:** Сканер HottScan roomscanner

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
GreenValley	США	—	Отсутствует	?	?



**Рис. 36:** Сканер GreenValley LiPod

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
ZG	Китай	2014	Отсутствует	?	?



**Рис. 37:** Сканер ZG HyperScan

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Stonex	Италия	—	Присутствует	?	?



**Рис. 38:** Сканер Stonex X100



**Рис. 39:** Сканер Stonex X150



**Рис. 40:** Сканер Stonex X300

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
Carlson Software	США	1983	Отсутствует	?	?



**Рис. 41:** Сканер Carlson Scan2K

Фирма производитель	Страна производитель	Год основания компании	Наличие авторизованного сервисного центра на территории РФ	Доступность на территории РФ	Приблизительная стоимость, руб.
RangeVision	Россия	2010	Присутствует	?	?



**Рис. 42:** Сканер RangeVision Spectrum



**Рис. 43:** Сканер RangeVision Neo