

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

на правах рукописи

**КИКТЕВА ОКСАНА ВЛАДИМИРОВНА**

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ  
ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Специальность: 5А311502 «Прикладная геодезия»**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**На соискание степени магистра**

**Работа рассмотрена и  
допускается к защите**

**Научный руководитель  
доц. Самборский А.А.**

**Зав. кафедрой  
«Геодезия и кадастр»  
А.Р. Бободжанов**

**Консультант  
доц. Авчиев Ш.К.**

**«\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.**

**ТАШКЕНТ-2012**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
\_\_\_\_\_ Ташпулатов С.А.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.

## Задание по подготовке и написанию магистерской диссертации

Магистерская диссертация по теме: Применение современных технологий для геодезического обеспечения строительства объектов инженерной инфраструктуры

утвержденная приказом ректора института от 29.03. 2012г.

за номером 2/101 по кафедре "Геодезия и кадастр"

за магистрантом Киктева Оксана Владимировна

научный руководитель доц. Самборский А.А.  
Ф.И.О., занимаемая должность, ученая степень, ученое звание

Должна быть подготовлена и представлена к предварительной защите на кафедре

"Геодезия и кадастр" 18 июня 2012года.  
число, месяц, год

В работе будут использованы: материалы отечественного и зарубежного опыта, научно-техническая литература, статьи, нормативно-технические акты, электронные ресурсы сети Интернет.

результаты экспериментов, стат. данные публикации, труды и т. д.  
законодательные и нормативные акты, инструкции и положения

В работе предусматривается: Применение современных технологий для геодезического обеспечения строительства объектов инженерной инфраструктуры

В работе предусматривается изложение следующих групп вопросов:

**1-ая группа.** Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры.

**2-ая группа.** Исследование технологии трехмерного наземного лазерного сканирования с точки зрения ее возможного применения для обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры

**3-ая группа.** Исследование организационно-технических и экономических аспектов внедрения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов и инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан

Задание выдано 24 февраля 2011г.  
дата, месяц, год

Заведующий кафедрой «Геодезия и кадастр»: \_\_\_\_\_ доц. Бободжанов А.Р.  
подпись, Ф. И. О.

Научный руководитель: \_\_\_\_\_ доц. Самборский А.А.  
подпись, Ф. И. О.

Задание приняла магистрант: \_\_\_\_\_ Киктева Оксана Владимировна  
подпись, Ф. И. О., дата

## ГРАФИК ЗАВЕРШЕНИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ В ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ ВАРИАНТЕ

Глава I. Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры.

название первой главы в первоначальном варианте

1 июня 2011г.

рабочем плане и сроки представления

Глава II. Исследование технологии трехмерного наземного лазерного сканирования с точки зрения ее возможного применения для обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры

название второй главы в первоначальном варианте

1 декабря 2011г.

рабочем плане и сроки представления

Глава III. Исследование организационно-технических и экономических аспектов внедрения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов и инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан

название третьей главы в первоначальном варианте

1 июня 2012г.

рабочем плане и сроки представления

Предварительная защита на кафедре 18 июня 2012 года

срок, дата, год

|                |   |          |  |
|----------------|---|----------|--|
| Задание выдано | <u>доц. Самборский А.А.</u><br>Научный руководитель | _____    | <u>24 февраля 2011г.</u><br>дата, месяц, год |
|                | <u>Доц. Авчиев Ш.К.</u><br>Консультант              | _____    | <u>24 февраля 2011г.</u><br>дата, месяц, год |
|                |   | подпись, |  |
|                |   | подпись, |  |

|                 |   |          |                                  |
|-----------------|---|----------|----------------------------------|
| Задание приняла | <u>Киктева Оксана Владимировна</u><br>Ф. И. О. магистранта, | _____    | <u>24 февраля 2011г.</u><br>дата |
|                 |   | подпись, |                                  |

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 6  |
| Глава 1.Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры.....  | 8  |
| 1.1.Современное состояние и перспектива развития строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан.....  | 8  |
| 1.2.Роль, задачи и содержание геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры .....   | 13 |
| 1.3.Анализ современных технологий геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры.....  | 16 |
| 1.3.1 Технология спутникового позиционирования.....  | 16 |
| 1.3.2.Технология электронной тахеометрии.....  | 18 |
| 1.3.3. Технология трехмерного наземного лазерного сканирования .....   | 20 |
| 1.4. Выводы .....  | 23 |
| Глава 2.Исследование технологии трехмерного наземного лазерного сканирования с точки зрения ее возможного применения для обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры ..... | 24 |
| 2.1.Теоретические основы технологии трехмерного .....  | 24 |
| наземного лазерного сканирования .....   | 24 |
| 2.1.1. Принцип действия и технология производства измерений.....   | 24 |
| наземным лазерным сканером.....  | 24 |
| 2.1.2.Технология выполнения работ наземным лазерным сканером. ....   | 27 |
| 2.2.Виды наземных лазерных сканеров.....   | 43 |
| 2.3.Разработка классификации наземных лазерных сканеров. ....  | 50 |
| 2.4.Исследование технических параметров наземных лазерных сканеров .....   | 52 |
| 2.5.Сдерживающие факторы применения данных наземного лазерного сканирования. ....  | 58 |
| 2.6.Выводы. ....   | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Глава 3. Исследование организационно-технических и экономических аспектов внедрения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов и..... | 60 |
| инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан .....   | 60 |
| 3.1.Выбор и обоснование объектов инженерной инфраструктуры, строящихся и эксплуатируемых в Республике Узбекистан, для возможного применения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования .....               | 60 |
| 3.2.Разработка рекомендаций по внедрению технологии .....   | 66 |
| трехмерного наземного лазерного сканирования в Республике Узбекистан .....  | 66 |
| 3.2.1. Организация специализированного центра наземного лазерного сканирования .....  | 66 |
| 3.2.2.Расчет затрат на создание специализированного центра наземного лазерного сканирования.....  | 70 |
| 3.3.Выводы .....  | 77 |
| Заключение.....   | 78 |
| Литература .....  | 80 |

## Введение

**Актуальность.** Растущие год от года объемы, при одновременном сокращении сроков, строительства объектов инженерной инфраструктуры различного назначения (автомобильных и железных дорог, магистральных трубопроводов и других коммуникаций, мостовых переходов, тоннелей и т.п.) предъявляют особые требования к его геодезическому обеспечению ввиду разнообразия этих объектов по конструктивным типам, материалам, технологиям возведения и т.д.

Анализ научно-технической литературы и практического опыта показал, что применяемые традиционные геодезические приборы и технологии не способны сегодня обеспечить качественное и оперативное геодезическое сопровождение на всех этапах строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры, особенно с учетом требований по сокращению сроков строительства.

В тоже время внедряемые сегодня новые, в том числе цифровые, технологии геодезических измерений и построений обладают многими преимуществами и могут рассматриваться в качестве заменителя традиционных технологий.

В связи с этим разработка научно обоснованных рекомендаций по наиболее эффективному внедрению современных технологий для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры является чрезвычайно актуальной.

**Основной целью работы** является исследование возможности и разработка рекомендаций по применению современных цифровых технологий для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан.

**Основными задачами работы** являются:

сбор, систематизация и анализ материалов отечественного и зарубежного опыта в области геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры;

изучение и анализ современных цифровых технологий (спутникового позиционирования, электронной тахеометрии, наземного трехмерного лазерного сканирования) с целью выявления их преимуществ и недостатков по сравнению с традиционными технологиями;

исследование технологии трехмерного наземного лазерного сканирования с точки зрения ее возможного применения для обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры;

исследование организационно-технических и экономических аспектов внедрения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов и инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является отечественный и зарубежный опыт, а также современные цифровые технологии геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры.

**Методы исследования.** В качестве методов теоретических исследований будут использоваться системный анализ, теория информации и метод дедукции.

Экспериментальные исследования будут выполняться путем сбора, систематизации и анализа материалов практического опыта в предметной области.

**Научную новизну** диссертации составят:

результаты изучения и анализа отечественного и зарубежного опыта, а также современных цифровых технологий геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры;

рекомендации по внедрению технологии наземного трехмерного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации различных объектов инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан.

**Практическая ценность** работы заключается в использовании ее результатов при разработке проектов нормативно-технических актов по применению технологии наземного трехмерного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации различных объектов инженерной инфраструктуры, а также при подготовке учебно-методических материалов (лекций и практических работ) для студентов ВУЗов, обучающихся по направлению «Геодезия, картография и кадастр».

**Публикация и апробация результатов работы.** Основные результаты работы доложены на ежегодной студенческой научной конференции Ташкентского Архитектурно-строительного института, а также опубликованы в сборнике научных трудов ТАСИ.

**Внедрение результатов работы** будет осуществляться путем использования разработанных рекомендаций при разработке проектов нормативно-технических актов Госкомземгеодезкадастра и других ведомств, а также учебно-методических материалов для студентов по направлению «Геодезия, картография и кадастр».

# Глава 1. Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры

## 1.1 Современное состояние и перспектива развития строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан

Трудно представить жизнь современного общества без электричества, газа, воды и всего того, что обеспечивает нормальную жизнедеятельность людей. Для комфорта городского жителя всегда готовы к услугам предприятия сферы обслуживания, включая торговлю, гостиницы, транспорт, а также разветвленная сеть инженерных коммуникаций, то есть все, что входит в понятие, именуемое городской инфраструктурой.



**Рис.1. Городская инфраструктура**

Инженерная инфраструктура – комплекс сооружений и коммуникаций, транспорта, связи, инженерного оборудования, а также объектов социального и культурно-бытового обслуживания населения, обеспечивающий устойчивое развитие и функционирование поселений и межселенных территорий.



**Рис.2. Строительство и эксплуатация объектов инженерной инфраструктуры**

задумывается над тем, что помимо всего прочего, инфраструктура – это важная часть экономики страны.

Городская инженерная инфраструктура – это сложное хозяйство, состоящее из систем водоснабжения и канализации, теплоснабжения, электроснабжения, газа, транспорта и дорог и т.д. С потребительской точки зрения, как городскому, так и сельскому жителю важно, чтобы все это хозяйство работало бесперебойно, как отлаженный часовой механизм. И мало кто

Экономика и развитие городов, как промышленных центров, взаимосвязаны между собой: строятся новые здания и сооружения, что, в свою очередь, предполагает создание соответствующей инфраструктуры, открываются новые производства, стимулируя спрос на рабочую силу. Города постепенно расширяются, увеличивается количество жителей, как за счет естественного прироста, так и за счет миграции, иначе говоря, происходят урбанизационные процессы, в которых человек осуществляет свое право выбора проживания на селе, или в городе.

Несовершенство городской инфраструктуры прямым образом оказывает влияние на развитие городов, чья роль в модернизации страны имеет исключительное значение. Для успешной урбанизации в условиях ускоренной модернизации страны необходима эффективная городская инфраструктура.

Каково же нынешнее состояние инфраструктуры городов в Узбекистане? Надо прямо признать, что существующая городская социальная и инженерная инфраструктура не отвечает требованиям сегодняшнего дня и является в некоторой степени ограничением для реализации политики урбанизации и ускоренной модернизации в стране.

Не менее важным препятствием роста городов является изношенность городской инженерной инфраструктуры, ограничивающей индустриальное развитие и создание новых промышленных производств.

В конце прошлого века и в начале нынешнего столетия основное внимание уделялось развитию инфраструктуры на селе, в 2006 году в республике при общем вводе в действие 2417 км водопроводных сетей, только 166 км было введено в городах; газовых сетей было введено 1825 км, из них 134 км в городах.

Уровень развития инфраструктуры регионов во многом зависит от географического положения и экономической ситуации в них. Безусловным лидером является столица – Ташкент, где высокий уровень развития обусловлен высокой деловой активностью отечественного и зарубежного бизнеса. В группу с относительно высокой степенью развития инфраструктуры входят Ташкентская, Ферганская, Кашкадарьинская, Самаркандская, Андижанская, Наманганская области и Республика Каракалпакстан. Высокие показатели развития в Республике Каракалпакстан во многом являются результатом реализации крупных инфраструктурных проектов (строительство железных и автомобильных дорог) и высоким уровнем урбанизации в данном регионе. Некоторые регионы (Бухарская и Навоийская области) имеют меньший уровень развития инфраструктуры, но это связано с расположением их в пустынно-степной зоне.

Изношенность инженерной инфраструктуры, ограничивающей индустриальное развитие, является объективным ограничителем роста городов. Как показывают результаты проведенного социологического исследования, изношенность инфраструктуры городов является основным препятствием для развития в городах промышленности, малого и среднего бизнеса.

Отсутствие комплексного перспективного планирования создает проблемы для малых и средних предприятий в этих городах. Как следствие, – проблемы с доступом к бесперебойному газо-, водо- и электроснабжению становятся еще более актуальными.

Таким образом, в настоящее время в городах страны (особенно в малых и средних) существует серьезный разрыв между спросом на услуги инфраструктуры и предложением на них. Увеличение спроса бизнеса на услуги инфраструктуры – это один из показателей роста экономики страны. Однако в нынешних условиях это приводит к повышенным нагрузкам на инфраструктурную мощность и, следовательно, к отставанию инфраструктуры от требований растущей экономики и масштабов социальных задач.

Модернизация инфраструктуры в соответствии с требованиями сегодняшнего дня требует значительных капиталовложений, превосходящих возможности местных властей, как городских, так и региональных. Но объективности ради надо признать, что возможности городских властей по наполнению городского бюджета ограничены.

Резюмируя краткий обзор, нужно заметить, что перетекание населения в более крупные города будет продолжаться, а возможно и усиливаться. Дело в том, что крупные города менее подвержены кризисным спадам и потрясениям, в силу имеющих диверсифицированных экономических структур. К тому же привлекательным моментом всегда было и есть сочетание современной городской инфраструктуры с высококачественными услугами в области здравоохранения, отдыха и развлечений.

Поэтому, необходимость развития городской инфраструктуры становится важным условием для решения социальных задач, успешной деятельности малого и частного бизнеса, привлечения иностранных инвестиций, что все вместе будет служить фактором обеспечения ускоренного экономического роста в модернизации страны.

Развитие транспортных связей между государствами испокон веков являлось одним из основных средств объединения народов, развития экономик, взаимообогащения культур и, в конечном итоге, оказывало большое влияние на мирное и гармоничное развитие человечества в его движении вперед. Территория Узбекистана находилась в сердцевине Великого Шелкового пути, и это было обусловлено тем, что именно через этот маршрут проходили самые короткие транспортные коридоры из Европы в Азию. Занимая

центральное место в регионе, Узбекистан объективно призван играть роль геополитического моста в отношениях между странами Запада и Востока. Использование географического расположения Узбекистана на перекрестке между Западом и Востоком, а также Севером и Югом евроазиатского континента, открывает возможность для многих стран Евразийского континента осуществлять сухопутное непрерывное и безопасное транспортное сообщение.

Важнейшим приоритетом реализации экономической программы на 2011 год и на перспективу должно стать комплексное и ускоренное развитие инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства. Для последовательной реализации этой приоритетной задачи разработана специальная программа на период до 2015 года, которая тесно увязана с реализуемыми программами перспективного развития отраслей экономики и территорий республики. Следует отметить, что на реализацию этой программы намечено направить за счет всех источников около 7 миллиардов долларов с реализацией 85 инвестиционных проектов, из них в 2011 году предстоит освоить свыше 1,2 миллиарда долларов.

Президент Узбекистана Ислам Каримов 21 декабря подписал постановление за № ПП-1446 "Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах" [2], которым одобрена программа ускорения развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах. Целями программы являются обеспечение опережающего роста отраслей производственной, транспортной и инженерно-коммуникационной инфраструктуры в тесной увязке с реализуемыми программами перспективного развития отраслей экономики и территорий страны и на этой основе создание новых рабочих мест и повышение уровня жизни населения. Документом определены 11 основных приоритетов развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства на ближайшую пятилетку:

1. Комплексное и опережающее развитие и **строительство транспортных коммуникаций**, современных телекоммуникационных систем и объектов инженерной инфраструктуры путем расширения масштабов привлекаемых зарубежных и внутренних источников финансирования, современных технологий, обновления строительного и индустриального производственных комплексов.

2. Ускорение реализации проектов по **созданию единой национальной автомобильной транспортной системы**, надежно соединяющей все регионы страны, расширение строительства и реконструкции участков четырехполосных дорог в составе

Узбекской национальной автомагистрали с обеспечением их современным цементобетонным и асфальтобетонным покрытием, отвечающим высоким требованиям международных стандартов, а также реконструкция автодороги через перевал Камчик.

3. Ускоренное развитие и **модернизация железнодорожного транспорта**, реконструкция железнодорожных путей, обустройство и запуск высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент-Самарканд, электрификация участков дороги до Бухары и Карши, обновление подвижного состава современными высокопроизводительными локомотивами, грузовыми и пассажирскими вагонами.

4. Развитие и укрепление материально-технической базы авиационных перевозок за счет **кардинального обновления парка воздушных судов** современными комфортабельными и экономичными самолетами ведущих производителей (Boeing и Airbus), организация их сервисного обслуживания, строительство и реконструкция аэропортов Ташкента и областных центров и на этой основе увеличение объемов грузовых перевозок, включая транзитные, повышение уровня и качества, а главное – обеспечение безопасности пассажирских авиaperезвозок.

5. Модернизация и ускоренное **развитие современных телекоммуникационных сетей** и сооружений, расширение сети сотовой связи и широкополосной передачи данных, поэтапный переход на цифровое телевидение в регионах Узбекистана.

6. Совершенствование системы организации и **управления транспортными перевозками**, создание современной эффективной многоцелевой транспортно-транзитной инфраструктуры, отвечающей международным требованиям и стандартам, обеспечение сопряженности в оказании транспортных услуг разными видами транспорта – автомобильным, железнодорожным и авиационным, укрепление материально-технической базы и повышение эффективности функционирования интермодальных центров логистики в Ангрене и на базе аэропорта Навои.

7. Формирование **новых транспортных коридоров**, обеспечивающих кратчайшие выходы к международным транспортным коммуникациям и увеличение транзитных перевозок, расширение доступа к региональным и мировым рынкам, повышение эффективности использования экспортного потенциала и расширение рынков сбыта отечественной продукции.

8. Строительство и реконструкция **объектов придорожной инфраструктуры и сервиса** вдоль национальной автомагистрали и железнодорожных путей, создание для участников движения по автомобильным и железнодорожным магистралям условий, отвечающих международным стандартам.

9. Обеспечение своевременной **закупки дополнительной современной дорожно-строительной техники** для реконструкции и развития национальной автомагистрали, внедрение в дорожном строительстве современных строительных технологий, оборудования и качественных материалов.

10. Расширение строительства, модернизации и реконструкции в регионах страны, особенно в сельской местности, **инженерно-коммуникационных сетей** – систем водоснабжения, канализации, электрификации и т.д., повышение на этой основе уровня и качества обеспечения населения и хозяйствующих субъектов водой и электроэнергией, улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки в городах и населенных пунктах.

11. Последовательное **снижение производственных затрат и себестоимости** при строительстве и эксплуатации объектов производственной инфраструктуры, транспорта и коммуникаций путем внедрения современных энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих экономное использование сырья, материалов и энергоресурсов.

Программа предусматривает комплексное и опережающее развитие и строительство транспортных коммуникаций, современных телекоммуникационных систем, объектов инженерной инфраструктуры на основе расширения масштабов привлекаемых зарубежных и внутренних источников финансирования, современных технологий, обновления строительного и индустриального производственных комплексов. Почти половина инвестиций в обновление инфраструктуры транспорта и коммуникаций будет направлена на создание единой национальной автомобильной транспортной системы, надежно соединяющей все регионы республики [1].

## **1.2. Роль, задачи и содержание геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры**

**Основной целью геодезического обеспечения** строительства объектов инженерной инфраструктуры является обеспечение соответствия геометрических параметров и планово-высотного положения строящихся объектов и их конструкций проектным данным и фактическому расположению на местности.

**Главной задачей геодезического обеспечения** является своевременное и качественное выполнение в требуемом объеме и с необходимой точностью комплекса геодезических измерений, являющихся неотъемлемой частью технологии работ при строительстве объектов инженерной инфраструктуры.

Проведение единой технической политики в области геодезического обеспечения строительства объектов инженерной инфраструктуры осуществляется структурными подразделениями, строительными ведомствами и организациями в соответствии с функциональными обязанностями.

Для геодезического обеспечения строительства объектов инженерной инфраструктуры строительные организации могут на договорных условиях привлекать специализированные организации. Условия геодезического обеспечения оговариваются договором подряда на выполнение строительных работ.

Геодезические работы в строительстве выполняются в определенном объеме и с заданной точностью, обеспечивающей соответствие геометрических параметров возводимых объектов требованиям строительных норм и правил.

#### **Основные задачи геодезического обеспечения всех стадий строительства:**

I. Задачи, связанные с проектированием и подготовкой строительства:

I.1 Инженерно-геодезические изыскания строительных площадок; геодезическое обеспечение других видов инженерных изысканий, необходимых для проектирования сооружений;

I.2 Геодезические расчеты при разработке проектной документации объекта:

а) геодезическая подготовка проекта для выноса его на местность;

б) горизонтальная и вертикальная планировка;

в) подсчеты площадей и объемов земляных работ.

II. Задачи, решаемые в процессе строительства:

II.1 Разбивочные работы:

а) создание на местности геодезической разбивочной основы;

б) вынос в натуру основных осей сооружения;

в) детальные разбивки.

II.2 Геодезические выверки при монтаже конструкций и технологического оборудования.

III. Задачи, связанные с контролем строительства и обеспечением надежной эксплуатации объектов строительства:

III.1 Исполнительные съемки частей зданий и сооружений, а также сооружения в целом;

III.2 Наблюдения за деформациями сооружений и их оснований.

Геодезические работы в строительстве выполняются в определенном объеме и с указанной точностью, которые обеспечивают при размещении и возведении объектов строительства соответствие геометрических параметров проектной документации

требованиям строительных норм и правил. Работы разделяются на следующие основные виды: съемочные, трассировочные, разбивочные, а также исполнительные съемки, наблюдения за деформациями объектов строительства.

Съемочные и трассировочные работы предшествуют проектированию строительства и проводятся в период инженерных изысканий.

Разбивочные работы ведутся непосредственно в период строительства и предназначаются для выноса с проекта на местность осей и точек зданий, сооружений.

Исполнительные съемки осуществляются в процессе строительства и при его завершении с целью контроля за выполнением и качеством строительно-монтажных работ, а также составления нового плана застроенной местности.

Наблюдения за деформациями объектов строительства проводятся с начала их возведения и до окончания строительства и, при необходимости, продолжаются в период эксплуатации.

В состав геодезических работ, связанных с их выполнением непосредственно на строительной площадке, входят:

- создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающей построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей зданий и сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений, а также для монтажа технологического оборудования;

- разбивка внутриплощадочных, кроме магистральных, линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);

- создание внутренней разбивочной сети зданий (сооружений) на исходном и монтажном' горизонтах и разбивочной сети для монтажа технологического оборудования, если это предусмотрено в проекте производства геодезических работ или в проекте производства работ, а также производство детальных разбивочных работ;

- геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки законченных объектов или их отдельных частей с составлением исполнительной геодезической документации;

- геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора.

Указанные выше геодезические работы являются необходимой частью технологии строительно-монтажных работ и осуществляются по единому графику, увязанному со сроками выполнения процесса строительного производства и специальных работ [25].

### **1.3. Анализ современных технологий геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры**

К числу наиболее перспективных и эффективных современных технологий, которые могут найти применение при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры можно отнести технологии спутникового позиционирования, электронной тахеометрии и трехмерного наземного сканирования.

#### **1.3.1. Технология спутникового позиционирования**

Системы спутникового позиционирования – современные средства координатно-временного обеспечения разнообразных работ. Основным их достоинством является глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность. Для измерений, в отличие от традиционных геодезических методов, не нужна видимость между определяемыми пунктами. Наиболее мощные приемники геодезического класса представляют собой не отдельные приемники, а целые измерительно-вычислительные станции и комплексы. Они снабжены и линиями радиосвязи, и внешними компьютерами, и разветвленными программами постпроцессорной, так называемой камеральной обработки данных, накопленных во время полевых измерений [18].

Вот некоторые области, где спутниковые системы позиционирования уже нашли применение:

развитие опорных геодезических сетей всех уровней: от глобальных до съемочных. Они существенно потеснили, а точнее, вытеснили, такие традиционные технологии геодезических работ, как полигонометрия, триангуляция, трилатерация;

проведение нивелирных работ, начиная от технического нивелирования - до нивелирования III класса точности;

исследования сейсмической активности и вулканизма, движений горных пород и ледников, геоморфологические, метеорологические исследования, мониторинг ионосферы и др. Обеспечение добычи полезных ископаемых, например, при открытой разработке угля, бурильных работ, геофизического профилирования;

геодезическое обеспечение строительства, прокладки кабелей, путепроводов, ЛЭП и других инженерно-прикладных работ;

кадастровые работы;

землеустроительные работы;

съёмка и картографирование всех видов - топографическая, специальная, тематическая;

для картографии и геоинформатики особенно важной является интеграция ГСП с геоинформационными системами (ГИС). Сбор материала для ГИС – перспективное самостоятельное направление.

Число областей применения GPS-средств велико.

Сегодня GPS-приемник стал привычным инструментом для геодезистов, проводящих топографическую съёмку и землеустроительные работы, осуществляющих инженерно-геодезические изыскания, геодезическое обеспечение строительства, а также при любых обмерных работах уже существующих заданий и сооружений.

Наиболее эффективно данная технология может применяться при развитии опорных геодезических сетей всех уровней.

#### **Основные достоинства и преимущества:**

Не требуется прямой видимости между пунктами.

Благодаря автоматизации измерений сведены к минимуму ошибки наблюдателей.

Позволяет круглосуточно при любых погодных условиях определять координаты объектов в любой точке Земного шара.

Точность GNSS(глобальной навигационной системы)-определений мало зависит от погодных условий (дождя, снега, высокой или низкой температуры, а также влажности).

GNSS позволяет значительно сократить сроки проведения работ по сравнению с традиционными методами.

GNSS-результаты представляются в цифровом виде и могут быть легко экспортированы в картографические или географические информационные системы.

**Общим недостатком использования любой радионавигационной системы** является то, что при определённых условиях сигнал может не доходить до приёмника, или приходиться со значительными искажениями или задержками. Поэтому применение данных систем и оборудования часто затруднено внутри зданий и помещений. Например, практически невозможно определить размеры строительных конструкций в глубине квартиры внутри железобетонного здания, в подвале или в тоннеле. Так как рабочая частота GPS лежит в дециметровом диапазоне радиоволн, уровень приёма сигнала от спутников может серьёзно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности. Нормальному приёму сигналов GPS могут повредить помехи от многих наземных радиостанций, а также от магнитных бурь. Но в настоящее время

создаются приборы, адаптированные к сложным условиям приема. Например Модуль LR9548 представляет собой GPS - приемник полностью готовый к использованию и не требует дополнительных внешних элементов - построен на базе чипсета SiRFStar III [18].

### **1.3.2. Технология электронной тахеометрии**

Использование электронных тахеометров связано с изменением традиционных методик и технологий геодезических работ. Так, по сравнению с существующей технологией выполнения традиционных топографических съемок электронная тахеометрия имеет ряд неоспоримых преимуществ, представленных в таблице 1, дающей сравнительную характеристику этих двух видов технологий.

В случае использования электронных тахеометров, возможно осуществить топографические съемки путем реализации технологий электронно-блочной тахеометрии. Общая их сущность заключается в том, что весь объект, подлежащий съемке, разделяют на отдельные участки-блоки. В пределах блока съемку выполняют с одной установки электронного тахеометра. При этом съемочное обоснование предварительно не создается, оно формируется в процессе съемочных работ.

Электронная тахеометрия может быть реализована в нескольких вариантах: последовательно расположенными станциями (последовательная тахеометрия), свободными станциями (кусочная тахеометрия) и их комбинацией. В любом случае связь между блоками обеспечивается наличием связующих точек.

Тахеометрия свободными станциями основана на использовании для определения положения станций пространственных угловых, линейных и комбинированных засечек. Для осуществления этой технологии съемки достаточно иметь разреженную, произвольно расположенную геодезическую основу.

Привязка свободной станции производится к минимальному числу исходных пунктов, ее координаты можно определить способами обратных линейно-угловых засечек.

Особенностью данного способа является и то, что съемку можно производить с высоких устойчивых средств передвижения или на застроенных территориях с крыш высотных зданий с хорошим круговым обзором местности, что обеспечивает большой радиус съемки. В качестве пунктов исходного геодезического обоснования, используемых для определения координат и высот станций кусочно-блочной тахеометрии, могут служить маячковые пикеты. Ими являются местные предметы (телевышки, дымовые

трубы, шпили зданий, громоотводы и т.п.), координаты и высоты, верха которых или их характерных элементов известны.

Таблица 1

Сравнительный анализ традиционной и электронной технологий  
выполнения топографических съемок

| Технические показатели           | Традиционная технология                           | Электронная технология                    |
|----------------------------------|---|---|
| $m_\beta$                        | 30"   | до 0,5"                                   |
| $m_S$                            | 1/300   | 1-2 мм до 1500 м                          |
| $l_{max}$                        | 120 м   | 1500 м с одной отражающей призмой         |
| $l_{opt}$                        | 75 м  |   |
| Накопление и хранение информации | полевые журналы и абрисы                          | электронные регистраторы накопители       |
| обработка результатов            | стационарная, в камеральных условиях              | обработка в полевых условиях              |
| вид съемочного обоснования       | Теодолитно - нивелирные ходы, разные виды засечек | создается в процессе осуществления съемки |
| закрепление точек                | временное закрепление колышками                   | допустимо без закрепления                 |
| точность определения пикетов     | $m_{x,y} = n_{см}, m_H = n_{см}$                  | $m_{x,y} = n_{мм}, m_H = n_{мм}$          |
| состав бригады                   | исполнитель (наблюдатель), записатор, реечник     | реечник (исполнитель)                     |
| дополнительные преимущества      |   | оперативность                             |

Другой особенностью электронной тахеометрии является то, что в ходовой линии (за ходовую линию принимается линия, проложенная между опорными геодезическими пунктами и всеми станциями) для каждой стороны известны приращения координат, а горизонтальные углы - только на станциях стояния инструмента.

Отличием данного метода является то, что необязательна видимость между смежными съемочными станциями, на которых устанавливается электронный тахеометр.

Связь между соседними блоками осуществляется только наличием двух связующих точек на каждой из смежных сторон блоков [7].

Основными областями применения технологии электронной тахеометрии в строительстве являются:

создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающей построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей зданий и сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений, а также для монтажа технологического оборудования;

разбивка внутриплощадочных, кроме магистральных, линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);

создание внутренней разбивочной сети зданий (сооружений) на исходном и монтажном горизонтах и разбивочной сети для монтажа технологического оборудования, а также производство детальных разбивочных работ;

геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки законченных объектов или их отдельных частей;

геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей.

### **1.3.3. Технология трехмерного наземного лазерного сканирования**

Наземное лазерное сканирование - самый оперативный и производительный способ получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте. Технология наземного лазерного сканирования позволяет дистанционно обследовать и по полученным данным создавать трехмерные цифровые модели, чертежи, сечения и планы местности и объектов сложной геометрической формы, включая сложные технологические сооружения, внутренние и подземные помещения.

Лазерные сканеры наземного базирования позволяют получать данные, которые обрабатываются в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Результатом съемки являются текстурированная трехмерная (пространственная) триангуляционная модель объекта, трехмерные ортофотоснимки объекта.

Лазерный сканер представляет собой высокоточный, полностью автономный, портативный прибор способный в короткое время получать исчерпывающие данные.

Сканер обеспечивает уникальную и непревзойденную технологию сбора информации об объекте. Принцип действия лазерного сканера основан на сплошном высокоскоростном измерении расстояний до объекта. Измерения проводятся со скоростью 2000–200000 импульсов в секунду и одновременно заносятся во внутреннюю память сканера.

При использовании лазерного сканера не нужен непосредственный доступ к объекту, не нужны отражатели или другие приспособления, необходима лишь прямая видимость.

Результатом съёмки является пространственная модель объекта, описанная огромным количеством точек, каждая из которых имеет координаты X, Y, Z. Четвертой характеристикой для каждой точки является значение интенсивности отраженного сигнала. Это очень удобно для визуализации измерений. Интенсивность отраженного сигнала зависит от составляющего материала объекта, его структуры цвета и т.д.

Пространственная модель объекта, описанная множеством точек, называется «облаком точек». С помощью специального программного обеспечения полученные «облака точек» «сшиваются» друг с другом. Объединенное «облако точек» может быть трансформировано в любую требуемую систему координат.

На полученной пространственной модели выполняют измерения различных геометрических параметров (расстояния, углы, диаметры, радиусы кривизны и т.д.). Также «облако» можно вращать, виртуально меняя положение наблюдателя и угол зрения.

После первичной обработки данных наземного сканирования, выполняется построение векторных моделей. Это осуществляется построением треугольников с вершинами в точках «облака» (триангуляционная или полигональная модель), либо используется набор примитивов (точка, вектор, плоскость, цилиндр, сфера и т.д.). Полученные векторные данные экспортируются в программы, которые работают с трехмерной векторной графикой, такие как: Auto-Cad, ArcView, MicroStation и другие.

Лазерный сканер дает существенное преимущество в сравнении с аналогичным геодезическим оборудованием, при съемке замкнутых областей, примером которых могут служить нефтеналивные резервуары и технологически сложные производственные помещения.

#### **Преимущества наземного лазерного сканирования:**

Многokратное использование данных

Полученная информация может быть использована для решения различных задач с применением исходных данных лазерного сканирования, дальнейшей обработкой и созданием трехмерной модели без повторной съемки

## Оптимизация временных и финансовых затрат

Время проведения полевых исследований сокращается до 90%. Быстрое получение и обновление информации с высокой точностью измерений (6 мм, угол — 60 мкрад) и полнотой получаемых данных.

Автоматизация процесса измерений и обработки данных, съемка труднодоступных и сложных объектов

Минимизация «человеческого фактора» без остановки производственных работ

Совместимость данных с AutoCAD, Microstation, 3DMax

Результаты созданной модели передаются в программы САПР через стандартные форматы dxf, dwg, txt и собственный формат сое (Cloudwork Object Exchange).

Благодаря своим преимуществам наземное лазерное сканирование находит широкое применение во многих областях науки, техники и отраслях народного хозяйства, а именно:

а) строительство и эксплуатация инженерных сооружений:

контроль строительства;

корректировка проекта в процессе строительства;

исполнительная съемка в процессе строительства и после его окончания;

оптимальное планирование и контроль перемещения и установки сооружений и оборудования;

мониторинг объектов при эксплуатации;

б) горная промышленность:

определение объемов выработок и складов сыпучих материалов;

создание цифровых моделей открытых карьеров и подземных

выработок с целью их мониторинга (данные о интенсивности отраженного сигнала и реальном цвете позволяют создавать геологические модели);

маркшейдерское сопровождение буровых и взрывных работ;

в) нефтегазовая промышленность:

создание цифровых моделей промысловых и сложных технологических объектов и оборудования с целью их реконструкции и мониторинга;

г) архитектура:

реставрация памятников и сооружений, имеющих историческое и культурное значение;

создание архитектурных чертежей фасадов зданий;

д) для разработки мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;

е) медицина:

для создания модели туловища человека с целью производства корсетов индивидуальной формы;

для производства протезов зубов;

ж) для выполнения топографической съемки территорий, имеющих высокую степень застроенности;

и) судостроение;

к) моделирование спортивных сооружений.

#### **1.4. Выводы**

Проведенный анализ современного состояния геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры позволяет сделать следующие выводы:

В последние годы в Республике Узбекистан наблюдается бурный рост объемов строительства различных объектов инженерной инфраструктуры: автомобильных и железных дорог, магистральных трубопроводов, объектов телекоммуникаций, энергетики и др.

Растущие объемы, разнообразие объектов инженерной инфраструктуры, комплексный подход к их проектированию и строительству предъявляют на современном этапе особые повышенные требования к технологиям геодезического обеспечения изысканий, проектирования, строительства и последующей эксплуатации этих объектов.

Выполнение этих требований возможно сегодня только на основе широкого внедрения новейших цифровых геодезических технологий, таких как спутниковое позиционирование, электронная тахеометрия, трехмерное наземное лазерное сканирование.

Наиболее перспективной и эффективной среди современных цифровых технологий для использования при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации различных объектов инженерной инфраструктуры является технология трехмерного наземного лазерного сканирования.

## **Глава 2. Исследование технологии трехмерного наземного лазерного сканирования с точки зрения ее возможного применения для обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры**

### **2.1. Теоретические основы технологии трехмерного наземного лазерного сканирования**

#### **2.1.1. Принцип действия и технология производства измерений наземным лазерным сканером**

Интеграция цифровой техники геодезических и фотограмметрических технологий привели к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности – систем наземной лазерной локации или наземных лазерных сканеров (НЛС).

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов), следовательно, измеряемые величины при наземном лазерном сканировании являются аналогичными, как и при работе с электронными тахеометрами. Однако принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек, характеризует НЛС, как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное изображение или так называемый скан.

Изображения, получаемые НЛС, обычно несут чрезвычайно большой объем информации, являющийся в ряде отношений избыточной. Во-первых, она обладает статистической избыточностью, заключающейся в том, что соседние элементы изображения в статистическом плане друг друга повторяют.

Если применить теорему Котельникова [3], которая гласит: «Произвольный сигнал, спектр которого не содержит частот выше  $f\beta$ , может быть полностью восстановлен, если известны отсчетные значения этого сигнала, взятые через равные промежутки времени  $1/(2f\beta)$ », то следует, что наземное лазерное сканирование является непрерывным способом получения информации об объекте съемки, так как обычно пространственное разрешение сканирования меньше ошибки определения координат отдельных точек наземным сканером. Во-вторых, изображения обладают психовизуальной избыточностью, т.е. часть информации, на получаемых изображениях, может быть исключена без последствий для восприятия этого изображения человеком. Другой тип избыточности определяется

«семантической» природой изображения, позволяющей при обработке изображения учитывать особенности организации реального мира.

Именно свойства избыточности позволяют говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте. Помимо перечисленных преимуществ наземное лазерное сканирование обладает, также следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

а) возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях (в момент сканирования измеряется дальность, вертикальный  $\theta$  и горизонтальный  $\varphi$  углы, по которым вычисляются координаты X, Y, Z точек);

б) трехмерная визуализация в режиме реального времени, позволяющая на этапе производства полевых работ определить «мертвые» зоны;

в) неразрушающий метод получения информации;

г) отсутствие необходимости обеспечения наблюдения точек объекта с двух центров проектирования (стояния) в отличие от фотограмметрического способа;

д) высокая точность измерений;

е) принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съемке труднодоступных и опасных районов;

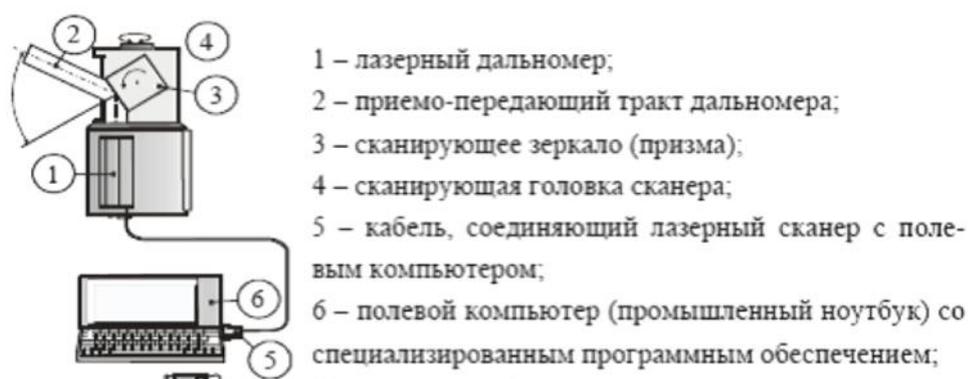
ж) высокая производительность. Наиболее важным достоинством применения НЛС является сокращение полевых работ при создании цифровых моделей объектов, следовательно, данная технология более экономически выгодна по сравнению с другими;

и) возможность выполнения работ при любых условиях освещения, т.е. и днем, и ночью, так как

сканеры являются активными съемочными системами;

к) высокая степень детализации;

л) многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.



**Рис. 3. Состав и принципиальная схема наземной лазерной сканирующей системы**

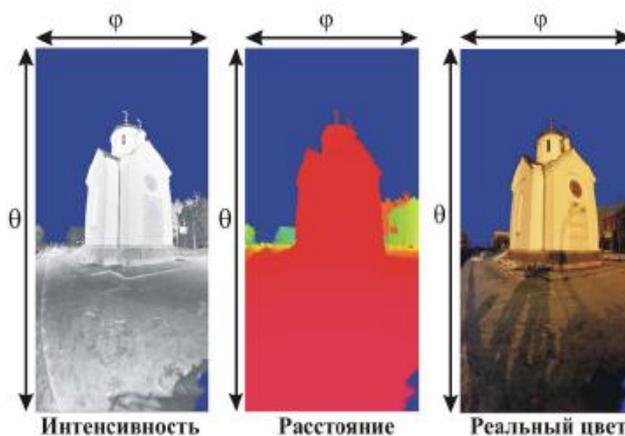
Система для наземного лазерного сканирования состоит из НЛС и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением [24].

НЛС состоит из лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой и блока развертки лазерного луча (рис. 3).

В основу работы лазерных дальномеров, используемых в НЛС, положены импульсный и фазовый безотражательные методы измерения расстояний, а также метод прямой угловой засечки.

В качестве блока развертки в НЛС выступает сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом

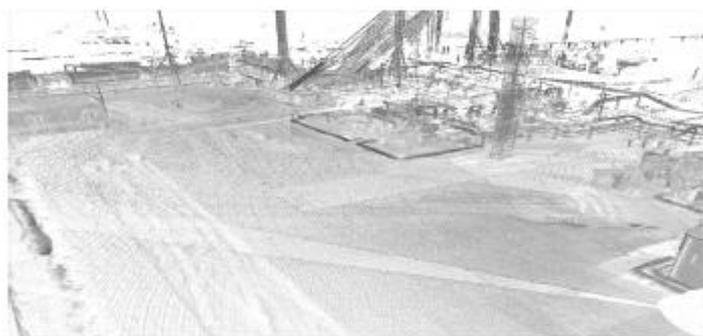
поворачивается вся верхняя часть сканера, которая называется головкой. Развертка в вертикальной плоскости осуществляется за счет вращения или качания зеркала.



**Рис. 4. Результат лазерного сканирования - растровое изображение**

В процессе сканирования фиксируются направление распространения лазерного луча и расстояние до

точек объекта. Результатом работы НЛС является растровое изображение – скан (рис. 4), значения пикселей которого представляют собой вектор со следующими компонентами: измеренным расстоянием,



**Рис. 5. Результат наземной лазерной съемки – массив точек**

интенсивностью отраженного сигнала и RGB-составляющей, характеризующей реальный цвет точки. Положение (строка и столбец) каждого элемента (пикселя) полученного растра отражает значения измеренных вертикального и горизонтального углов. Для большинства моделей НЛС характеристика реального цвета для каждой точки получается с помощью неметрической цифровой камеры.

Другой формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив точек (рис. 5) лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью и реальным цветом.

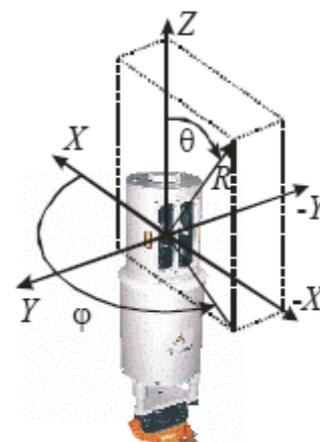
Пространственные координаты точек объекта в системе координат скана вычисляются по полученному расстоянию и направлению луча (рис. 6) формулам [36-38]:

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi \sin \theta \\ Y = R \sin \varphi \cos \theta \\ Z = R \cos \theta \end{cases} \quad (1)$$

где  $R$  – измеренная дальность от точки стояния сканера до объекта;

$\varphi$  – горизонтальный угол измеренного направления;

$\theta$  – вертикальный угол измеренного направления, отсчитываемый от оси  $Z$  до вектора направления (зенитное расстояние направления).



**Рис. 6. Расположение осей НЛС**

Формулы (1) являются обобщенными для перехода от полярной системы координат к пространственной декартовой. Для каждого конкретного сканера они имеют индивидуальный вид, где учитываются несовпадение источника излучения и приемника, эксцентриситет вертикальной и горизонтальной осей вращения прибора и другие величины, которые называются параметрами калибровки сканера [36-38,41].

### **2.1.2. Технология выполнения работ наземным лазерным сканером.**

В настоящее время не существует запатентованной технологии выполнения работ по наземной лазерной съемке с целью построения трехмерных моделей объектов и создания топографических планов и двумерных чертежей участков сканирования. На основе изучения практического опыта автором была разработана технология выполнения съемки и создания цифровых моделей объектов и рельефа, представленная на рисунке 7.



**Рис.7. Технология построения трехмерных моделей объектов и создания цифровых топографических планов по данным наземного лазерного сканирования**

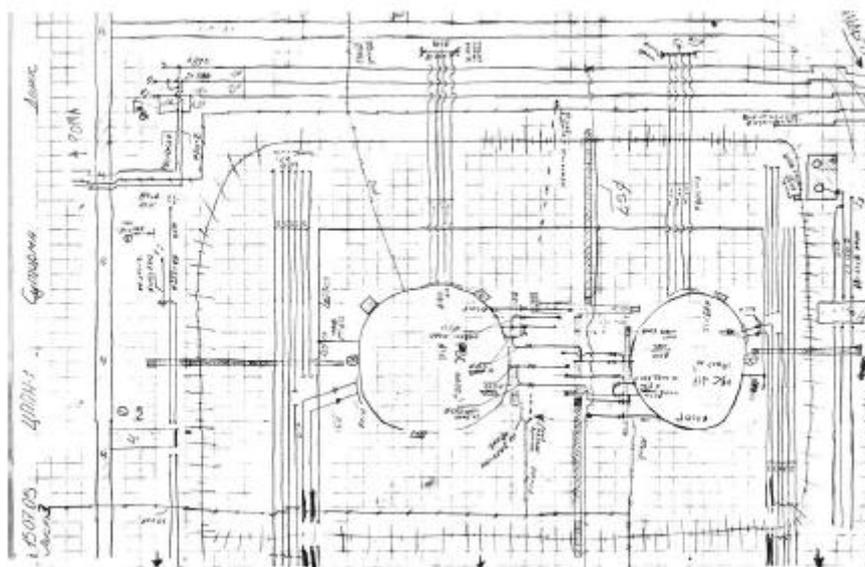
Рассмотрим сущность и особенности выполнения каждого процесса наземной лазерной съемки.

*Составление технического проекта на наземное лазерное сканирование.* На этапе составления технического проекта регламентируется требуемая точность построения трехмерной модели объекта или цифрового плана или, содержание и детализация их,

необходимый формат (расширение) готовой продукции, используемое оборудование, стоимость проведения работ и обработки результатов. При необходимости уточняются вопросы о дополнительной семантической информации на каждый объект.

*Рекогносцировка и составление абрисов.* С учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания и сгущения съемочного обоснования. Выбор каждой точки съемочного обоснования зависит от того, как она будет использоваться в процессе съемки. Также во время рекогносцировки выбираются точки расположения сканера, места размещения специальных марок, уточняются сроки проведения работ и т.п.

По завершении рекогносцировки составляются абрисы на снимаемую территорию, фрагмент которых, показан на рисунке 8. От полноты абрисов зависит надежность дальнейшего дешифрирования объектов съемки по точечной модели в камеральных условиях.



**Рис.8. Фрагмент абриса**

При съемке малозастроенных территорий абрисы лучше составлять по точечной модели объекта (полученной после наземного лазерного сканирования) распечатанной на бумаге в ортогональной проекции, аналогично, как выполняется полевое дешифрирование объектов по фотопланам. Такой подход позволяет упростить процесс составления абрисов, так как на точечной модели будут отображены все объекты в едином масштабе, и ее необходимо дополнить только семантической информацией.

*Создание основного планово-высотного обоснования.* Планово-высотное обоснование необходимо для создания трехмерных моделей и крупномасштабных планов местности и в заданной системе координат и включает следующие процессы:

составление проекта сети основного и рабочего планово-высотного обоснования;  
закрепление точек основного планово-высотного обоснования;  
полевые измерения по планово-высотной привязке точек основного обоснования;  
камеральная обработка, включающая следующие этапы: уравнивание результатов полевых измерений и составление каталога координат точек основного планово-высотного обоснования;

оценка точности создания основного съемочного обоснования.

С учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания основного и рабочего съемочного обоснования. При наземной лазерной съемке объекта предлагается определять плановые координаты точек основной опорной сети с применением спутниковых геодезических технологий, проложением теодолитных или полигонометрических ходов, прямой или обратной засечкой, а отметки в этом случае при помощи – тригонометрического или геометрического нивелирования.

Вычисление координат пунктов основного съемочного обоснования, а также оценка точности его создания осуществляются в зависимости от выбранного способа координатной привязки и программного обеспечения.

При использовании RTK-режимов (real time kinematic) спутниковой геодезии для определения координат точек основного планово-высотного обоснования процесс камеральной обработки измерений сводится к минимуму, что позволяет в процессе выполнения полевых работ получать пространственные координаты точек, которые записываются в контроллер приемника.

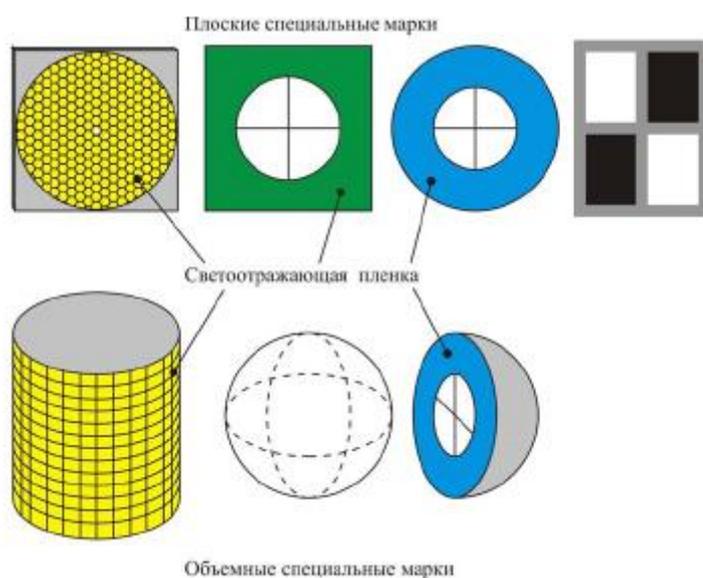
С пунктов основной опорной сети определяются координаты точек рабочего съемочного обоснования, которые проектируются на расстоянии от 2 до 250 м вокруг точек стояния сканера. На точки съемочной сети устанавливаются специальные марки, координаты которых рекомендуется определять электронным тахеометром в безотражательном режиме.

Оценка точности создания основного съемочного обоснования выполняется по невязкам. В случае применения GPS-технологий для определения координат точек основной опорной сети апостериорная оценка точности выполняется с использованием алгоритмов заложенных в программном обеспечении, с помощью которого производилась обработка спутниковых геодезических измерений.

*Определение координат точек рабочего съемочного обоснования. Наземное лазерное сканирование.* Порядок работы на сканерной станции состоит из следующих этапов:

1) установка на запроецированной точке сканера на штатив, высота которого задается такой, чтобы обеспечить максимальный охват интересующего объекта на одном скане;

2) расстановка вокруг сканера специальных марок, которые являются точками рабочего съемочного обоснования. Виды специальных марок представлены на рисунке 9. Плоские марки обычно используются для ориентирования сканов относительно внешней системы координат, объемные марки – для взаимного ориентирования (подсоединения) сканов;



**Рис. 9. Виды специальных марок**

3) определение координат центров специальных марок с точек основной опорной сети. Для этих целей наиболее эффективным является использование электронных тахеометров и безотражательного режима измерений.

Контроль определения координат точек рабочего обоснования можно выполнить при помощи многократных измерений центров специальных марок или определением координат одних и тех же точек рабочего обоснования с различных пунктов основного съемочного обоснования (аналогичным образом, как и при оценке точности тахеометрической съемки);

4) сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера. Если сканер снабжен цифровой камерой, то выполняется также цифровая съемка;

5) идентификация и определение приближенных координат центров специальных марок с дальнейшей целью быстрого определения области их положения на скане. В зависимости от модели сканера эти операции выполняются либо по полученному скану, либо по цифровому снимку (если сканер оснащен цифровой камерой);

6) сканирование специальных марок с максимальным разрешением, что позволяет с предельно возможной точностью для данной модели сканера определять их координаты в системе координат скана;

7) перемещение сканера на следующую точку сканирования и повторение этапов 1 – 6.

Количество и расположение сканерных станций проектируется исходя из требований обеспечения необходимой точности создаваемой продукции, производительности и экономичности работ.

Выбор сканерных станций должен обеспечивать отображение на одном скане максимальной площади снимаемой территории. В связи с этим сканер необходимо располагать примерно на высоте 30 м относительно снимаемой территории, но такое размещение требует дополнительных дорогостоящих устройств. Из рисунка 10 видно, что величины линейного шага сканирования по вертикали ( $l_{\text{верт}}$ ) будет меньше с увеличением высоты сканера относительно снимаемой поверхности. Таким образом, превышение сканера над снимаемым объектом позволяет увеличить обзорность и плотность измеряемых точек, что значительно повышает информативность точечной модели.

На графике (рис. 11) показаны значения  $l_{\text{верт}}$  в зависимости от высоты стояния сканера  $h$  полученные по формуле

$$l_{\text{верт}} = htg\left(\arctg\frac{S}{h} + \Delta\theta\right) - S \quad (2)$$

где  $S$  – расстояние от сканера до объекта съемки;

$h$  – высота сканера относительно снимаемого объекта;

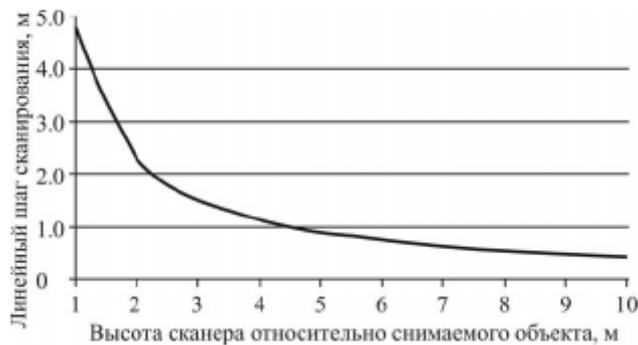
$\Delta\theta$  –угловой шаг сканирования по вертикали.



**Рис.10. Зависимость линейного шага сканирования по вертикали от высоты сканера относительно снимаемого объекта**

Величина линейного шага сканирования по горизонтали ( $l_{гор}$ ) практически не зависит от высоты стояния сканера, а зависит только от углового шага сканирования по горизонтали  $\Delta\varphi$  и отстояния объекта съемки от НЛС, что видно из формулы

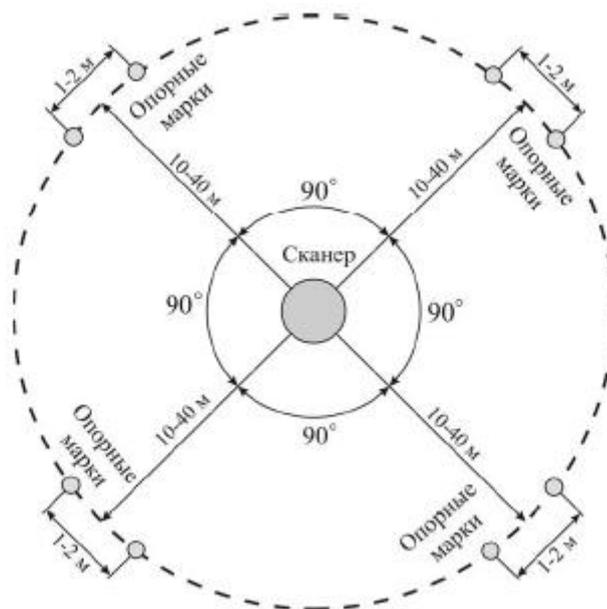
$$l_{гор} = 2\sqrt{S^2 + h^2} \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) \quad (3)$$



**Рис.11. Изменение  $l_{гор}$  в зависимости от  $h$  при  $S = 50$  м и  $\Delta\theta = 0,1^\circ$ .**

При создании рабочего съемочного обоснования сканерной съемки специальные марки следует располагать по схеме, показанной на рисунке 10. Специальные марки рекомендуется располагать парами через  $90^\circ$  по горизонтальной плоскости. Как показал практический опыт, использование такой геометрии размещения и количества специальных марок (рис. 12) позволяет сократить затраты времени на расстановку марок,

подготовку планово-высотного обоснования сканерной съемки и непосредственно сканирование.



**Рис.12. Схема расположения специальных марок относительно сканера**

В случае, если наземный лазерный сканер снабжен устройствами центрирования и горизонтирования, то необходимость создания рабочего съемочного обоснования сканерной съемки отпадает. При этом точки основного съемочного обоснования будут одновременно являться сканерными станциями и проектируются аналогичным образом, как и при тахеометрической съемке.

Для съемки инженерных объектов с целью создания трехмерных моделей разрешение сканирования следует задавать в соответствии с формулой:

$$\Delta\varphi(\Delta\theta) = \frac{180d}{1.41\pi S} \quad (4)$$

где  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\theta$  – разрешение сканирования по горизонтали и вертикали;

$d$  – минимальный размер объекта, который должен быть отображен на трехмерной модели объекта;

$S$  – расстояние от точки стояния сканера до объекта съемки.

Отстояние сканерных станций друг от друга при съемке объектов с целью создания трехмерных моделей, как правило, составляет 20-30 м, а в некоторых случаях и меньше в

зависимости от сложности объекта. Угловое разрешение при наземной лазерной съемке с целью создания крупномасштабных планов задается одинаковое на каждой станции и определяется следующими факторами:

техническими характеристиками сканера;

сложностью объектов;

детальностью окончательной продукции, которая должна удовлетворять заданным требованиям;

производительностью (т.е. снимаемая площадь за рабочий день) и оперативностью (т.е. время работы на одной станции) работ.

Из практического опыта выполнения работ по наземной лазерной съемке [36-38] с целью создания крупномасштабных топографических планов рекомендуется выбирать следующие параметры при сканировании:

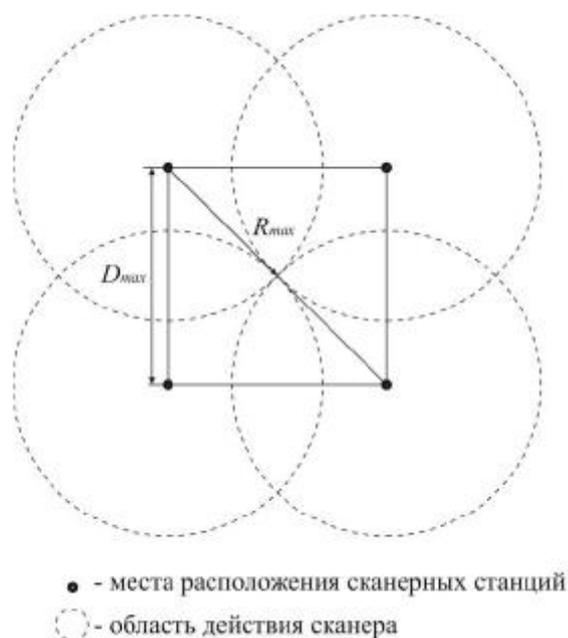
для инженерных сооружений сканерные станции следует располагать на расстоянии 50-60 м друг от друга. Если съемка выполняется путем проложения сканерного хода, то станции следует располагать на расстоянии примерно 30 м. Разрешение сканирования следует задавать  $0,1^{\circ} \pm 0,02^{\circ}$  по горизонтали и вертикали;

для открытой местности (без сооружений и коммуникаций) сканерные станции предпочтительнее устанавливать на расстоянии 150-200 м, если дальность действия сканера позволяет выполнять измерения на расстояния 200 м и более. В противном случае станции следует устанавливать на отстоянии друг от друга, вычисляемом по формуле

$$D_{max} = 0,636R_{max} \quad (5)$$

где  $D_{max}$  – максимальное расстояние между сканерными станциями;

$R_{max}$  – максимальная дальность действия НЛС при отражающей способности объектов 4-20%.



**Рис.13. Зависимость отстояния между сканерными станциями от дальности действия НЛС**

Разрешение при сканировании открытых территорий следует задавать  $0,08-0,09^\circ$  по горизонтали и вертикали. Если у сканера реализован непрерывный режим сканирования (например, НЛС фирмы Riegl, Zoller+Fröhlich и др.), то разрешение сканирования по вертикали можно увеличить до  $0,06-0,07^\circ$ . При этом сканер надо устанавливать не ниже, чем на 2 м от поверхности земли. Данные параметры сканирования рекомендуется задавать и при съемке с целью создания цифровой модели рельефа.

*Камеральные работы.* Камеральная обработка данных наземного лазерного сканирования с целью создания трехмерной векторной модели выполняется по одной из следующих технологий, представленных на рисунках 14 и 15.

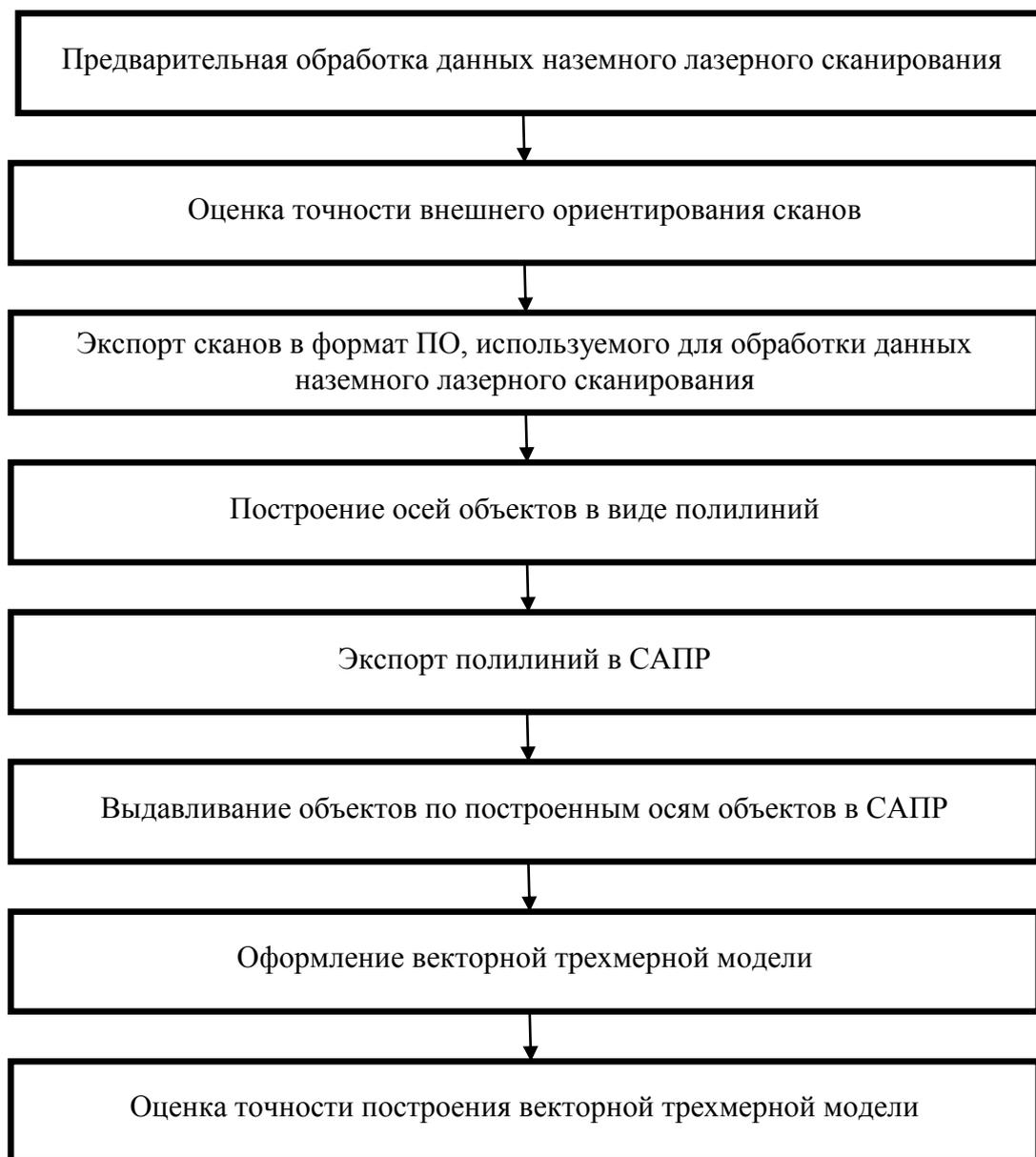
*Предварительная обработка данных наземного лазерного сканирования.* Управление наземным лазерным сканером и предварительная обработка результатов сканирования обычно осуществляются с использованием программного продукта фирмы-изготовителя сканера. Предварительная обработка данных начинается с фильтрации данных. На данном этапе удаляются точки, не принадлежащие объекту съемки, для чего используются различные фильтры, например, для удаления шумов, осреднения данных, высокочастотной и низкочастотной фильтрации и т.д.

Затем выполняется внешнее ориентирование одиночных точечных моделей (сканов) с целью приведения их в заданную систему координат.

Оценка точности внешнего ориентирования сканов производится по средней квадратической ошибке единицы веса, вычисляемой при помощи алгоритмов реализованных в программном обеспечении.



**Рис.14. Технологическая схема №1 построения трехмерной векторной модели по данным наземного лазерного сканирования**



**Рис.15. Технологическая схема №2 обработки данных наземного лазерного сканирования с целью построения векторной трехмерной модели**

*Построение трехмерных моделей местности или создание двумерных планов (чертежей). Поскольку некоторые программные продукты, предназначенные для обработки данных наземного лазерного сканирования, используют внутренний формат (расширение), то возникает необходимость экспорта в них данных из программы управляющей сканером, результатом которого является файл с единой точечной моделью.*

В технологических схемах 14 и 15 процесс построения трехмерной векторной модели на основе результатов предварительной обработки данных наземного лазерного сканирования включает следующие этапы:

- построение трехмерной векторной модели ситуации;
- построение цифровой модели рельефа.

Построение векторных моделей ситуации в технологической схеме №1 (рис. 14). Основная часть камеральных работ в технологии построения трехмерных моделей объектов по данным наземного лазерного сканирования приходится на создание векторной модели объектов. Для построения трехмерной векторной модели используются следующие режимы:

- автоматический;
- полуавтоматический;
- интерактивный.

Выбор режима векторизации точечной модели зависит от формы элементов объектов, если они имеют правильную форму, то используется автоматический режим создания модели. Полуавтоматический и интерактивный режимы применяются для моделирования объектов неправильной, сложной геометрической формой и маленьких размеров.

В процессе векторизации, как с целью создания цифровых топографических планов, так и построения трехмерной векторной модели целесообразно разделять объекты по слоям. При этом их следует называть по типам объектов, например забор металлический ниже одного метра, забор металлический выше одного метра, забор бетоны, сетка рабица, изгородь и т.д. Такой подход позволяет при оформлении, например, топографического плана в геоинформационной системе быстро изменить стили линий.

Для построения цифровой модели рельефа разработана следующая методика:

1) удаление из данных наземного лазерного сканирования в интерактивном режиме точек, принадлежащих деревьям и высотным конструкциям, таким как, опоры ЛЭП, здания, трубы, цистерны и т.д. Это необходимо с целью «облегчения» точечной модели для дальнейшей обработки ее при помощи автоматических фильтров;

2) удаление точек, не принадлежащих поверхности земли, с помощью топографического фильтра. Для достижения удовлетворительного результата необходимо несколько раз воспользоваться данным фильтром, при этом каждый раз увеличивая размер анализируемого участка;

3) построение регулярной сетки высот методом Kriging в ПО Surfer для разрежения точечной модели и создания регулярной матрицы высот;

4) построение ЦМР в виде TIN-поверхности (поверхности, представленной нерегулярной сетью треугольников).

Приведем пример построения цифровой модели рельефа площадью в 10 га с плотностью 1 точка на  $0,25\text{ м}^2$  с точностью, не грубее 5 см. [36-38]. Сначала из точечной модели удаляются точки, не принадлежащие земле, в интерактивном режиме. Затем при помощи топографического фильтра исключаются точки, не принадлежащие поверхности земли. При этом размер обрабатываемого участка массива точек следует задавать в такой последовательности 5×5 см, 10×10 см, 20×20 см, 40×40 см, 80×80 см. При каждом изменении размера участка надо отслеживать необходимое количество точек на всей территории. При образовании «пустот» в точечной модели, следует отдельно выполнять фильтрацию точек на данных участках, впоследствии объединяя их с единой моделью. После завершения фильтрации точечная модель передается в программный продукт Surfer, где строится регулярная матрица высот плотностью 0,25 м<sup>2</sup>. На последнем этапе создается ЦМР в виде TIN-поверхности.

Построение векторных моделей ситуации технологической схеме №2 (рис. 15). При использовании этой технологии оси таких элементов конструкций, такие, как уголки, швеллера, двутавровые балки, электрические кабели и провода, показываются в виде полилиний. Также вычерчивается поперечный профиль конструкции на одном из концов оси. Затем эта модель в виде полилиний экспортируется в программу САПР, где выполняется «выдавливание» конструкций по созданным осям объектов.

Применение той или иной технологической схемы построения векторной модели зависит от характера элементов ситуации, а именно:

для таких элементов, как уголки, швеллера, двутавровые балки, электрические кабели и провода целесообразнее применять вторую схему;

для зданий, трубопроводов, сферических объектов и т.д. следует использовать первую схему.

Редактирование трехмерной векторной модели местности. Данный процесс осуществляется с целью обеспечения целостности получаемой трехмерной модели. Обычно редактирование выполняется в системах автоматизированного проектирования, например, AutoCAD.

*Создание базы данных.* Для решения практических задач с использованием трехмерной модели местности она интегрируется или «связывается» с базой данных, в которой содержится различная семантическая информация. Для удобства работы с базой данных и моделью они разделяется по слоям. Оценка точности построения трехмерной модели местности. Оценка точности построения трехмерной модели местности по данным наземного лазерного сканирования может выполняться аналогично, как и при создании крупномасштабных топографических планов, т.е., либо по результатам измерения рулеткой длин отрезков между четкими контурами, либо по координатам контрольным пикетов, которые могут быть определены электронным тахеометром или другим геодезическим прибором. При этом указанные точки не должны изменять свое пространственное положение. С целью создания по данным наземного лазерного сканирования крупномасштабных планов и чертежей камеральные работы выполняются с использованием технологической схемы, показанной на рисунке 16.

Отличие технологических схем, представленных на рисунках 14, 15 и 16, заключается в разных подходах к обработке данных наземного лазерного сканирования. Рассмотрим эти процессы подробнее.

Векторизация точечной модели для создания цифровых топографических планов и чертежей выполняется в следующей последовательности:

а) рисовка сооружений и крупных объектов (на начальном этапе рекомендуется на плане отобразить крупные площадные объекты, такие как здания, сооружения и т.д., которые надежно дешифрируются по точечной модели без применения абрисов);

б) векторизация линейных объектов, например трубопроводов, кабельных каналов, ЛЭП и т.д. Для надежного дешифрирования таких объектов необходимо использовать абрисы, составленные на этапе проведения полевых работ, а также другие документы, например, ранее созданные топографические планы на данную территорию, технологические схемы объектов и т.д.;

в) нанесение точечных объектов, таких как канализационные люки, колодцы связи, пожарные гидранты и др. Как правило, пространственное положение объектов, выступающих над землей менее чем на 1 см, рекомендуется определять геодезическими методами, например, с помощью электронного тахеометра;

г) способ построения рельефа зависит от загруженности топографического плана. Если топографический план имеет большую плотность контуров, то рельеф отображается в виде точек с отметками, во всех остальных случаях - горизонталями и другими условными знаками.



**Рис.16. Технологическая схема камеральных работ с целью создания цифровых топографических планов и чертежей по данным наземного лазерного сканирования**

Оформление цифрового топографического плана и создание базы данных. Для окончательного оформления топографического плана целесообразнее использовать программы САПР или ГИС.

Оценка точности создания топографического плана по данным наземного лазерного сканирования может осуществляться двумя способами:

по средним квадратическим ошибкам координат характерных точек объектов, полученным по векторной модели и в полевых условиях одним из известных геодезических способов, например, с помощью электронного тахеометра;

по разностям длин линий, полученным в полевых условиях и созданной векторной модели.

## 2.2. Виды наземных лазерных сканеров

В настоящее время разработкой приборов для трехмерного лазерного сканирования занимается множество фирм: широко известные Trimble (США) и Leica Geosystems (Швейцария), а также Riegl (Австрия), I-Site (Австралия), Zoller+Fröhlich (Германия) и другие. Все эти фирмы выпускают сканеры для различных целей. Задачи, решаемые конкретной моделью НЛС, определяются его техническими характеристиками [15].

Фирма Trimble выпускает сканер под названием Callidus 3D Laser Scanner (рис. 17). Конструктивной особенностью данного сканера является то, что внутри головки объединены: блок развертки, цифровая видеокамера (с фокусным расстоянием от 4,1 до 73,8 мм и горизонтальным разрешением 460 линий), датчик наклона прибора (инклинометр), электронный компас и блок управления. Инклинометр, который имеет диапазон действия  $\pm 10^\circ$  и точность  $\pm 0,025^\circ$ , предназначен для устранения ошибок за наклон инструмента. НЛС оснащен системой, обеспечивающей внутренний контроль блоков прибора и автоматический ввод атмосферных поправок [30].



**Рис.17. НЛС Callidus 3D Laser Scanner**

Кроме сканера Callidus 3D фирмой Mensi (Франция) под маркой фирмы Trimble выпускались сканеры GS100, GS200, Soisic, S10 и S25, представленные на рисунке 18, ныне снятые с производства. В настоящее время выпускается наземный лазерный сканер Trimble GX (рис. 18г).



**Рис.18. НЛС фирмы Trimble (а – GS200; б – Soisic; в – S25; г – GX)**

Совместно с получением пространственных координат точек объекта сканеры GS100 и GS200 позволяют выполнять съемку цифровой видеокамерой, с помощью которой можно получать цифровые цветные снимки объектов сканирования. Видеокамера оснащена трансфокатором для автоматического изменения фокусного расстояния объектива. НЛС GS100 и GS200 имеют встроенное программное обеспечение [21,32,33]. После начала выпуска сканера GS200 модель GS100 была снята с производства в виду того, что новая модель является усовершенствованным продолжением старой [32,33].

Сканеры Mensi S10, S25 и Soisic разработаны специально для съемки объектов малых размеров и внутреннего оборудования помещений. Эти модели НЛС отличаются высокой точностью получения пространственных координат точек объекта (порядка 0,1 мм), так как в них реализован триангуляционный способ измерения расстояний. В данных приборах применяется автоматическая фокусировка и настройка мощности лазерного излучения относительно возвращенного электромагнитного сигнала [42]. Эти модели сканеров также оснащены цифровыми камерами.

Австрийская фирма Riegl Laser выпускает сканеры Riegl серии LMS (рис. 19).

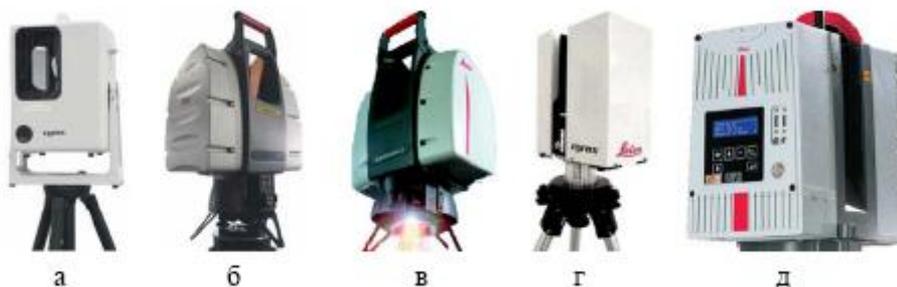


**Рис.19. Лазерные сканеры фирмы Riegl (а – LMS-Z210; б – LMS-Z360; в – LMS-Z420i; г – LMS-Z390i; д – LMS-Z210ii)**

Лазерный сканер Riegl LMS-Z210, кроме пространственных координат точек объекта и информации об интенсивности отраженного сигнала, позволяет получать данные о реальном цвете точек за счет внедрения в приемопередающий тракт дальномера ПЗС-элемента. Приемник, принимающий информацию о реальном цвете, имеет очень высокую интегральную чувствительность, но за счет того, что сканирование производится с высокой скоростью (малое время экспозиции), получаемое изображение имеет низкую цветопередачу [36].

Сканеры LMS-Z360, LMS-Z390 и LMS-Z420 конструктивно аналогичны LMS-Z210 [36-38]. Их отличие заключается в технических характеристиках. Особенностью этих моделей является возможность установки на сканирующую головку цифровых камер Nikon D100 или Canon EOS 1Ds [36,37].

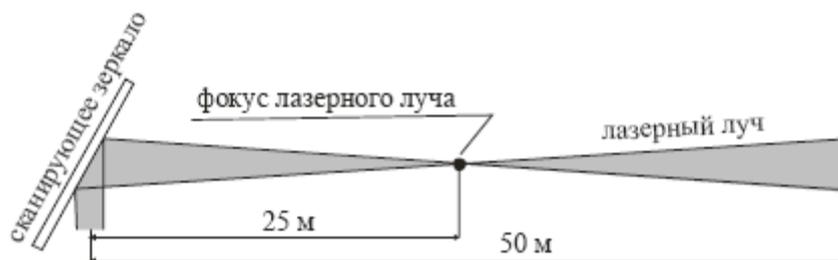
Производством и продажей НЛС занимается известная в геодезии фирма Leica. Под маркой этой фирмы на рынке можно встретить сканеры: HDS 2500, HDS 3000, HDS 4500, ScanStation, HDS 6000 и ScanStation 2 (рис. 20), хотя в настоящее время первые четыре модели не выпускаются.



**Рис.20. Наземные лазерные сканеры фирмы Leica Geosystems (а – HDS 2500; б – HDS 3000; в – ScanStation 2; г – HDS 4500; д – HDS 6000)**

Наземный лазерный сканер ScanStation является конструктивным продолжением НЛС HDS 3000. Отличительными особенностями сканера ScanStation является наличие двухосевого компенсатора углов наклона прибора, точность работы которого составляет 1". Данный сканер также оснащен лазерным центриром, поэтому этот прибор можно ориентировать, как обычный электронный тахеометр. Кроме того, НЛС ScanStation оснащен встроенной цифровой камерой.

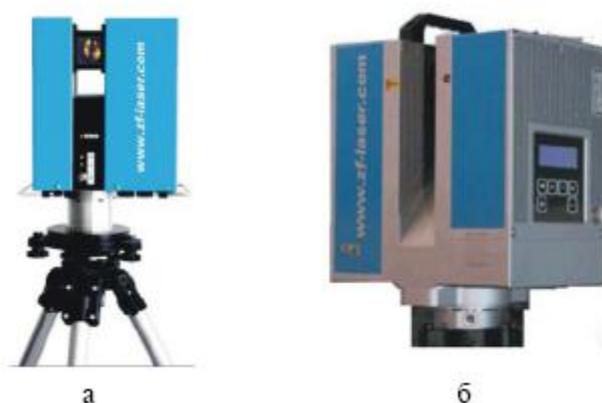
В 2007 г. фирма Leica Geosystems начала выпускать лазерные сканеры ScanStation 2, отличительной особенностью которых является значительно большая максимальная скорость сканирования и улучшенные другие технические характеристики. Кроме этого следует отметить, что в НЛС HDS 3000, ScanStation и ScanStation 2 лазерный луч имеет фокус на расстоянии примерно 25 м от сканера, как показано на рисунке 21. Это означает, что на расстоянии примерно 50 м от сканера до объекта лазерный луч у перечисленных НЛС не увеличивается.



**Рис. 21. Фокусировка лазерного луча у сканеров HDS 3000, ScanStation и ScanStation 2**

Особого внимания заслуживают сканеры HDS 4500 и HDS 6000 [34]. Лазерный сканер Leica HDS 4500 имеет очень высокую скорость сканирования (650000 точек/сек), в то время как другие сканеры – порядка 1000-8000 точек/сек. При этом точность

получаемых пространственных координат точек объекта сравнима с точностью других сканеров. У модели HDS 4500 расширено поле зрения в вертикальной плоскости до 310°, благодаря чему размер мертвой зоны будет очень мал. Высокая скорость сканирования достигается за счет применения фазового метода измерения расстояний. Для решения фазовой неоднозначности измерения расстояний используется способ фиксированных частот с двумя несущими частотами, так называемыми: грубой и точной. Разработчиком сканера HDS 4500 является фирма Zoller+Fröhlich, поэтому он имеет второе название, как Z+F Imager 5003 (рис. 22) [34,39,44].



**Рис.22. НЛС фирмы Zoller+Fröhlich (а – Imager 5003; б – Imager 5006)**

Лазерные сканеры Leica HDS 6000 и Z+F Imager 5006 снабжены встроенными дисплеем, клавиатурой для управления НЛС и жестким диском, которые позволяют отказаться от персонального компьютера при выполнении сканерной съемки.

Следует отметить, что лазерные сканеры Leica HDS 3000, ScanStation и ScanStation 2 имеют практически самое маленькое угловое разрешение в результате ошибки, связанные с метрологическими свойствами объекта и граничными, будут наименьшие (для этих сканеров присуща маленькая шумовая составляющая в измерениях).

Производителем НЛС также является фирма Ortech (Канада). Она выпускает приборы под названием Iris 3D и Iris 63D (рис. 23), разработанный компанией «Йена инструмент». Данные сканеры принципиально ничем не отличаются от других за исключением того, что в них встроена цифровая видеокамера и цветной экран VGA с диагональю 17 см. Это нововведение позволяет отказаться от использования переносного персонального компьютера для задания режимов сканирования [5,31]. Управление НЛС

осуществляется через инфракрасный порт при помощи карманного компьютера Palm, поставляемого вместе со сканерами [5].



**Рис.23. Лазерные сканеры фирмы Optech (а – НЛС Iris 3D; б – Iris 63D)**

Отличительной особенностью НЛС Iris 63D то, что он имеет большее поле зрения и лучшие технические характеристики по сравнению с Iris 3D.

Компания I-Site выпускает НЛС I-Site 4400 (рис. 24). По техническим характеристикам (в первую очередь по скорости сканирования) и внешнему виду этот прибор больше соответствует классу роботизированных тахеометров, однако производитель заявляет его, как сканер [40]. Данный прибор оснащен центриром, инклинометром и визирной трубой (для задания начального направления) [40]. Также сканер оборудуется цифровой камерой, в которой в качестве регистрирующего устройства выступает ПЗС-линейка. С помощью данной камеры можно получить панорамные изображения всей области сканирования. Сканер связан с компьютером через кабель Ethernet. Питание сканера осуществляется при помощи 24-ех вольтовой батареи, которая встроена в корпус [40].



**Рис.24. НЛС I-Site 4400**

Выпуском наземных лазерных сканеров занимается также фирма Konica, которая производит НЛС Konica Minolta VI-9i (рис. 26). В данной модели реализован второй вариант триангуляционного принципа измерения расстояний. Он оснащается тремя съемными объективами именуемые TELE, Middle и Wide, от типа которого зависит точность измерения расстояний (от 0,05 до 0,40 м) и диапазон действия (от 0,5 до 2,5 м). Длина волны лазерного излучения составляет 690 нм, класс безопасности которого либо 1-ый либо 2-ой. В конце 2007 г. анонсирован лазерный сканер GLS-1000 фирмы Topcon (рис. 27).



**Рис.26. Наземный лазерный сканер  
Konica Minolta VI-9i**



**Рис.27. Лазерный сканер Topcon GLS-  
1000**

Основными характеристиками современных лазерных сканеров являются следующие:

- точность измерения расстояния, горизонтального и вертикального угла;
- максимальное разрешение сканирования;
- дальность действия наземного лазерного сканера;
- скорость сканирования;
- расходимость лазерного луча;
- класс безопасности, используемого лазера;
- портативность.

### 2.3. Разработка классификации наземных лазерных сканеров.

В настоящее время в научно-технической литературе нет единой установившейся классификации НЛС. Для разделения НЛС на типы целесообразнее за основу принимать общие признаки классификации геодезических приборов, установленные ГОСТ «Приборы геодезические. Общие технические требования». В основу классификации приборов в данном стандарте положены следующие признаки [5,22]:

- а) функциональное назначение:
  - приборы для измерения углов;
  - приборы для измерения длин линий;
  - приборы для измерения превышений и высот;
  - приборы для съемки – комбинированные приборы;
  - приборы специального назначения (приборы вертикального проектирования, приборы для створных наблюдений и другие);
  - прочие приборы (центриры, рейки, вешки, рефрактометры и другие);
- б) область применения (по точности);
- в) физическая природа носителей информации;
- г) устойчивость к транспортировке;
- д) конструктивные особенности.

Анализ приведенных признаков классификации и типизации геодезических приборов, указанных в существующем ГОСТе, показывает, что использование их для НЛС будет некорректно. Это объясняется несколькими обстоятельствами. Так, например, для типизации геодезических приборов используется классификация по точности, где внутри каждой группы выполняется разделение приборов на подгруппы (типы) по точности измеряемых величин. Однако некоторыми НЛС (Mensi GS100 и GS200) измеряются одни величины ( $R$ ,  $\phi$ ,  $\theta$ ), а выходными данными, доступными для пользователя, являются другие ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), что не позволяет отнести данные сканеры к конкретному (одному) типу, поскольку не выполняется основное требование метрологии – единство (измерений, норм и других), соответственно, и единство классификации. Также для типизации геодезических приборов используется классификация по природе носителей информации. Однако у всех НЛС применяется единственный способ измерения и хранения данных – электронный, следовательно, также невозможно выполнить их классификацию по этому признаку.

На основании выполненного обзора НЛС и принятой классификации геодезических приборов к наземным сканерам предполагается применить следующие классификационные признаки:

по используемому методу измерения расстояний (импульсные, фазовые и триангуляционные сканеры);

по точности определения пространственных координат точек объекта (низкоточные сканеры с ошибкой получения координат более 10 мм, средней точности с ошибкой от 3 мм до 10 мм и высокоточные с ошибкой менее 3 мм);

по используемым средствам получения информации о реальном цвете (с использованием встроенной видеокамеры; цифровой камеры, устанавливаемой на сканер; датчика, принимающего информацию о цвете отраженного импульса);

по дальности действия (сканеры ближнего действия до 30 м, среднего от 30 м до 70 м и дальнего свыше 70 м);

по области поля зрения сканера (малообзорные, среднеобзорные и полного обзора);  
по классу безопасности.

Из перечисленных признаков классификации главными для целей типизации (метрологической аттестации) НЛС являются точность получения пространственных координат и дальность действия сканеров. Эти признаки необходимо учитывать комплексно, так как точность получения пространственных координат напрямую зависит от отстояния объекта от НЛС (особенно при работе с триангуляционными сканерами).

*Классификация наземных лазерных сканерах по степени безопасности.* Современные наземные лазерные сканеры разделяются на 4 класса по степени безопасности в зависимости от способности лазерной системы нанести вред персоналу. Если лазеры класса I не наносят никакой вред, то лазеры класса IV способны резать толстую сталь. Изготовитель обязан маркировать Классы II, III и IV лазеров с ярлыком предупреждения, на котором должен быть напечатан класс безопасности лазера [43].

*Лазеры класса I* являются устройствами, которые предусматривают защиту от всех потенциальных опасностей. Некоторыми примерами лазерных устройств класса I являются: лазерные принтеры, устройства CD-ROM, геологическое оборудование обзора и лабораторное аналитическое оборудование. Никакие требования обеспечения безопасности не нужны, чтобы использовать лазерные устройства [43].

*Лазерами класса II* являются лазеры низкой мощности, работающие в видимой зоне спектра. Некоторыми примерами лазерных использований класса II являются: лазерные указатели, нацеливающие устройства, устройства для определения расстояний. При

непосредственном рассматривании лазерных лучей класса II в течение долгого периода времени (более 15 минут) могут быть нанесены повреждения глазам. Не следует смотреть на лазерные лучи класса II, направлять их в глаза или рассматривать через телескопические устройства [43].

*Лазеры класса IIIa* с непрерывным электромагнитным излучением мощностью от 1 до 5 мВт используются в устройствах, являющихся лазерными указателями и лазерными сканерами. Прямое попадание лазерного луча класса безопасности IIIa может быть опасно для глаз. Не следует рассматривать лазерные лучи этого класса непосредственно, направлять их в глаза людей и рассматривать с телескопическими устройствами, так как это усиливает вредное воздействие [43].

*Лазеры класса IIIb* – это устройства с непрерывным электромагнитным излучением мощностью от 5 до 500 мВт. Примером использования лазерных устройств класса безопасности IIIb являются: спектрометрия, стереолитография и светошоу. Прямое попадание лазерного луча класса IIIb опасно для глаз, диффузные отражения луча также могут быть опасны. Нельзя рассматривать лазерный луч класса IIIb непосредственно и с телескопическими устройствами – это усиливает его вредное воздействие. При работе с лазерными устройствами класса безопасности IIIb необходимо иметь надлежащую защиту для глаз [43].

В соответствии со СНиП 5804-91 наиболее опасно лазерное излучение с длиной волны: 0.38-1.40 мкм – для сетчатки глаза; 0.18-0.38 мкм и свыше 1.40 мкм – для передних сред глаза; 0.18-100 мкм (т.е. во всем диапазоне) - для кожи. В наземных лазерных сканерах используются видимый (0,38-0,8 мкм) и ближний (0,8-1.3 мкм) диапазоны длин волн, поэтому при сканировании не желательно выполнять сканирование даже, если сканер имеет 1-ый класс безопасности.

#### **2.4. Исследование технических параметров наземных лазерных сканеров**

Наземные лазерные сканеры можно условно разделить на 3 вида:

Фазовые лазерные сканеры (например, **FARO 880 (США)**) производят измерения со скоростью 120 000 точек в секунду с точностью 2 мм. Максимальная дальность измерений прибора составляет 80 метров. Основное применения эти приборы находят в промышленности, энергетике и архитектуре.

Импульсные лазерные сканеры (например, **Optech ILRIS-36D**) на сегодняшний день имеют наибольший радиус действия в мире. Они позволяют производить измерения на расстоянии более полутора километров от цели. Это свойство определяет области применения сканера: производство топографических съемок, горная отрасль, строительство.

Маркшейдерские импульсные лазерные сканеры (например, **Optech CMS Wireless**) – уникальные инструменты, разработанные для проведения съемок недоступных полостей.

Сравнительные характеристики наземных лазеров даны в таблице 2.

Примечание к таблице:

- 1 - типичная скорость сканирования;
- 2 - приведено для поверхности, отражающая способность которой 10%, в скобках для поверхности с отражающей способностью 80%;
- 3 - приведены данные, когда зеркало вращается, в скобках когда зеркало качается;
- 4 - приведено для единичного отражения, в скобках для осредненного;
- 5 - данные приведены после осреднения трехкратного измерения;
- 6 - до поверхности с отражением 84%;
- 7 - 800 м до поверхности с коэффициентом отражения 20 %;
- 8 - предельная дальность действия;
- 9 - 5 см на расстоянии 80 м;
- 10 - рекомендуемая дальность действия 50 м при 5-100 % коэффициенте диффузного отражения;
- 11 - в скобках приведена точность определения пространственных координат для случая единичного измерения.
- 12 - приведено для поверхности, отражающая способность которой 18%, в скобках для поверхности с отражающей способностью 90%;

| Технические характеристики сканеров   | Модель сканера, фирма, страна, источник литературы |                                 |                                 |                               |                               |                              |                               |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|   | IMAGER 5003 Zoller+Frohlich Германия               |                                 | IMAGER 5006 Zoller±Frohlich     | LMS Z-210 Riegl Австрия[9]    | LMSZ-210ii Riegl Австрия      | LMS Z-360 Riegl Австрия [10] | LMS Z-390 Riegl Австрия       |
|   | LARA 25200[23]                                     | LARA 53500                      |                                 |                               |                               |                              |                               |
| Диапазон действия:<br>минимальная дальность, м<br>максимальная дальность, м | 1,0<br>25,2  | 1,0<br>53,5                     | 1,0<br>79                       | 2,0<br>150 (350) <sup>2</sup> | 4,0<br>200 (650) <sup>2</sup> | 1,0<br>60 (200) <sup>2</sup> | 1,0<br>100 (300) <sup>2</sup> |
| Скорость сканирования,<br>точек/сек   | 625000<br>(125000) <sup>1</sup>                    | 500000<br>(125000) <sup>1</sup> | 500000<br>(125000) <sup>1</sup> | 8000<br>(12000) <sup>3</sup>  | 8000<br>(10000) <sup>3</sup>  | 8000<br>(12000) <sup>3</sup> | 8000<br>(11000) <sup>3</sup>  |
| Длина волны лазера, нм  | 780  | 780                             | 780                             | 900                           | 900                           | 900                          | 900                           |
| Расходимость лазерного луча, мрад   | 0,22   | 0,22                            | 0,22                            | 3                             | 2.7                           | 2                            | 0,25                          |
| Точность линейных измерений, мм   | 3  | 5                               | 10 мм до 50 м                   | 25                            | 15                            | 6                            | 6                             |
| Область сканирования:<br>горизонтальная<br>вертикальная                     | 360°<br>310°                                       | 360°<br>310°                    | 360°<br>310°                    | 333°<br>80°                   | 360°<br>80°                   | 360°<br>90°                  | 360°<br>80°                   |
| Разрешение:<br>по горизонтали по<br>вертикали                               | 0,01°<br>0,018°                                    | 0,01°<br>0,018°                 | 0,259°<br>0,259°                | 0,072°<br>0,072°              | 0,01°<br>0,01°                | 0,01°<br>0,004°              | 0,002°<br>0,002°              |
| Точность отсчета угла:<br>горизонтального<br>вертикального                  | ±0,02°<br>±0,02°                                   | ±0,02°<br>±0,02°                | ±0,007°<br>±0,007°              | ±0,018°<br>±0,036°            | ±0,005°<br>±0,005°            | ±0,0025°<br>±0,002°          | ±0,001°<br>±0,001°            |
| Компенсатор: точность работы диапазон действия                              | отсутствует  | отсутствует                     | отсутствует                     | отсутствует                   | отсутствует                   | отсутствует                  | отсутствует                   |
| Класс безопасности  | 3R   | 3R                              | 3R                              | 1                             | 1                             | 1                            | 1                             |

| Технические характеристики сканеров   | Модель сканера, фирма, страна, источник литературы |                               |                               |                              |                             |                                |                              |  |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
|   | LMS Z-420<br>Riegl<br>Австрия[11]                  | GS100<br>Mensi<br>Франция[20] | GS200<br>Mensi<br>Франция[19] | S 10<br>Mensi<br>Франция[20] | S25<br>Mensi<br>Франция[20] | SOISIC<br>Mensi<br>Франция[20] | Trimble<br>GX<br>США         | HDS 2500<br>Leica<br>Швейцария<br>[13] |
| Диапазон действия:<br>минимальная дальность, м<br>максимальная дальность, м | 2,0<br>250 (800) <sup>2</sup>                      | 2<br>100                      | 200(350)                      | 0,8<br>10                    | 2<br>25                     | 0,8<br>5                       | 200(350)                     | 1,5<br>50(100) <sup>10</sup>           |
| Скорость сканирования, точек/сек  | 8000<br>(12000) <sup>3</sup>                       | 5000                          | 5000                          | 100                          | 100                         | 100                            | 5000                         | 2000 (1000) <sup>1</sup>               |
| Длина волны лазера, нм  | 1400   | 532                           | 532                           | нет данных                   | нет данных                  | нет данных                     | 532                          | 532                                    |
| Расходимость лазерного луча, мрад   | 0,25   | 0,068                         | 0,068                         | нет данных                   | нет данных                  | Нет данных                     | 0,068                        | 0,12                                   |
| Точность линейных измерений, мм   | 10(5) <sup>4</sup> +20мм/<br>км                    | 6                             | 3 <sup>5</sup>                | 0,21                         | 0,6                         | 0,5 до 5 м                     | 2,5 до 100 м<br>6,5 до 200 м | 4 (6) <sup>11</sup>                    |
| Область сканирования:<br>горизонтальная вертикальная                        | 360°<br>80°  | 360°<br>60°                   | 360°<br>60°                   | 46°<br>320°                  | 46°<br>320°                 | 46°<br>320°                    | 360°<br>60°                  | 40°<br>40°                             |
| Разрешение:<br>по горизонтали по вертикали                                  | 0,004°<br>0,004°                                   | 0,0018°<br>0,0018°            | 0,0018°<br>0,0018°            | нет данных                   | нет данных                  | нет данных                     | 0,003°<br>0,003°             | 0,0034°<br>0,0034°                     |
| Точность отсчета угла:<br>горизонтального<br>вертикального                  | ±0,0025°<br>±0,002°                                | ±0,0018°<br>±0,0018°          | ±0,0018°<br>±0,0018°          | нет данных                   | нет данных                  | нет данных                     | ±0,003°<br>±0,003°           | ±0,0003°<br>±0,0003°                   |
| Компенсатор: точность работы диапазон действия                              | отсутствует  | отсутствует                   | отсутствует                   | отсутствует                  | отсутствует                 | отсутствует                    | 6"<br>±14'                   | отсутствует                            |
| Класс безопасности  | нет данных   | 2                             | 2(3R)                         | нет данных                   | нет данных                  | 3A                             | 3R                           | 2                                      |

| Технические характеристики сканеров   | Модель сканера, фирма, страна          |                                    |                                      |  |                                 |   |   |                                 |
|---|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|---|---------------------------------|
|   | HDS 3000<br>Leica<br>Швейцария<br>[21] | Scan Station<br>Leica<br>Швейцария | Scan Station 2<br>Leica<br>Швейцария | HDS 4500<br>Leica<br>Швейцария<br>[22] | HDS 6000<br>Leica<br>Швейцария  | iQsun 625<br>iQvolution<br>Германия<br>[27] | iQsun 880<br>iQvolution<br>Германия[28] | Pris 3D<br>Optech<br>Канада[26] |
| Диапазон действия:<br>минимальная дальность, м<br>максимальная дальность, м | 1<br>100                               | 1<br>134 (300) <sup>12</sup>       | 1<br>134 (300) <sup>12</sup>         | 1,0<br>53,5                            | 1,0<br>79                       | 25  | 76                                      | 350 (800) <sup>7</sup>          |
| Скорость сканирования,<br>точек/сек   | 1800                                   | 4000                               | 50000                                | 625000<br>(125000) <sup>1</sup>        | 500000<br>(125000) <sup>1</sup> | 240000<br>(160000) <sup>1</sup>             | 240000<br>(133000) <sup>1</sup>         | 2000                            |
| Длина волны лазера, нм  | 532                                    | 532                                | 532                                  | 780                                    | 780                             | 785   | 785                                     | нет данных                      |
| Расходимость лазерного<br>луча, мрад  | 0,12                                   | 0,12                               | 0,12                                 | 0,22                                   | 0,22                            | 0,2   | 0,2                                     | 0,29                            |
| Точность линейных изме-<br>рений, мм  | 4 (6) <sup>11</sup>                    | 4                                  | 4                                    | 3                                      | 10 мм до<br>50 м                | 3 мм/10 м                                   | 3 мм/10 м                               | 3                               |
| Область сканирования:<br>горизонтальная вертикальная                        | 360°<br>270°                           | 360°<br>270°                       | 360°<br>270°                         | 360°<br>310°                           | 360°<br>310°                    | 360°<br>300°                                | 360°<br>320°                            | 40<br>40                        |
| Разрешение:<br>по горизонтали по вертикали                                  | 0,018°<br>0,054°                       | 0,005°<br>0,005°                   | 0,005°<br>0,005°                     | 0,02°<br>0,02°                         | 0,259°<br>0,259°                | 0,0026°<br>0,009°                           | 0,007°<br>0,007°                        | нет данных                      |
| Точность отсчета угла:<br>горизонтального<br>вертикального                  | ±0,0034°<br>±0,0034°                   | ±0,001°<br>±0,001°                 | ±0,0034°<br>±0,0034°                 | ±0,01°<br>±0,018°                      | ±0,007°<br>±0,007°              | ±0,00076°<br>±0,0011°                       | ±0,00076°<br>±0,0011°                   | нет данных                      |
| Компенсатор: точность<br>работы диапазон действия                           | отсутствует                            |                                    | 1"<br>±5'                            | отсутствует                            | 3,6"<br>±5'                     | отсутствует                                 | отсутствует                             | отсутствует                     |
| Класс безопасности  | 3R                                     | 3R                                 | 3R                                   | 3R                                     | 3R                              | н/д   | н/д                                     | 1                               |

| Технические характеристики сканеров   | Модель сканера, фирма, страна         |                    |                            |                                  |                               |                                  |                             |
|---|---------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
|   | Iris <sup>6</sup> 3D<br>Optech Канада | LaserAce Scanner   | 3Dguru<br>Visilmage<br>США | CP3200<br>Callidus<br>США[20,32] | Сугах 2500<br>Суга<br>США[11] | I-Site 4400<br>Австралия<br>[31] | DeltaSphere 3000<br>3rdTech |
| Диапазон действия:<br>минимальная дальность, м<br>максимальная дальность, м | 350 (800) <sup>7</sup>                | 700                | 24                         | 0,15<br>32 (150) <sup>8</sup>    | 1,5<br>50 (100) <sup>10</sup> | 3<br>400                         | 0,3048<br>12,192            |
| Скорость сканирования,<br>точек/сек   | 2000                                  | 250                | 210000                     | 1750                             | 1000                          | 4400                             | 25000                       |
| Длина волны<br>лазера, нм   | нет<br>данных                         | 905                | 650                        | 905                              | 532                           | 670                              | нет<br>данных               |
| Расходимость лазерного<br>луча, мрад  | 0,29                                  | нет<br>данных      | 0,14                       | 4,36                             | 0,12                          | 2                                | 0,78                        |
| Точность линейных изме<br>рений, мм   | 4                                     | 50                 | 3                          | 5 (50) <sup>9</sup>              | 4 (6) <sup>11</sup>           | 50                               | 7,6                         |
| Область сканирования:<br>горизонтальная<br>вертикальная                     | 360<br>ПО                             | нет<br>данных      | 360°<br>270°               | 360°<br>140°                     | 40°<br>40°                    | 360°<br>80°                      | 360°<br>150°                |
| Разрешение:<br>по горизонтали<br>по вертикали                               | 0,001°<br>0,001°                      | 0,0008°<br>0,0008° | 0,003°<br>0,003°           | 0,01°<br>0,25°                   | 0,0034°<br>0,0034°            | 0,0028°<br>0,0028°               | 0,1°<br>0,05°               |
| Точность отсчета угла:<br>горизонтального<br>вертикального                  | нет<br>данных                         | нет<br>данных      | нет<br>данных              | ±0,005°<br>±0,009°               | ±0,0003°<br>±0,0003°          | ±0,0028°<br>±0,0028°             | ±0,015°<br>±0,015°          |
| Компенсатор:<br>точность работы<br>диапазон действия                        | отсутствует                           | отсутствует        | отсутствует                | отсутствует                      | отсутствует                   | отсутствует                      | отсутствует                 |
| Класс безопасности  | 1                                     | нет данных         | 3R                         | 1                                | 2                             | 3R                               | нет данных                  |

## **2.5. Сдерживающие факторы применения данных наземного лазерного сканирования.**

Проведенный анализ технических параметров наземных лазерных сканеров выявил сдерживающие факторы применения данных наземного лазерного сканирования:

Сложная и трудоёмкая обработка результатов

Подготовка специалистов трудоёмкая и требует много времени

Высокая стоимость комплекта оборудования и программное обеспечение (оборудование для сканирования -150-200 тыс. \$)

Программное обеспечение - 50-80 тыс \$

Сервисная техника (компьютеры, принтеры, накопители и т.п.) - 10 тыс \$

Автомобиль специализированный – 7-10 тыс.\$) Итого 220-290 тыс \$

Для эффективного обслуживания сканера требуется до 10 человек

Недостаточное разнообразие прикладного программного обеспечения

Недостаточно сертифицированных методик наблюдений с использованием лазерных сканеров

Слабая автоматизация обработки измерений

Технические регламенты и другие нормативные документы по применению технологии лазерного сканирования не разработаны

Применяемое при проектировании программное обеспечение не «стыкуется» с компьютерными моделями объектов, полученных по данным лазерного сканирования

Нехватка специалистов, реально работающих с 3D

Зачастую заказчик недопонимает, какая модель и с какими характеристиками необходима для дальнейшей работы (по точности, по детальности, по семантике и т.д.)

Практически отсутствуют сведения о метрологических исследованиях лазерных сканеров

Имеются единицы моделей сканеров, приспособленных к работе в условиях низких температур.

## 2.6. Выводы.

Анализ технических параметров с учетом разработанной классификации позволяет сделать следующие выводы.

Наиболее подходящими моделями наземных лазерных сканеров для решения задач геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры являются наземные лазерные сканеры, обладающие следующими техническими параметрами:

Диапазон действия (минимальная дальность – 1 м.) - IMAGER 5003 Zoller+Frohlich, S 10;

Mensi, Scan Station Leica, HDS 4500 Leica;

Диапазон действия (максимальная дальность – 1 м.) - LMS Z-420 Riegl, Iris 3D, Iris<sup>6</sup>3D Optech;

Точность линейных измерений, 3 мм - IMAGER 5003 Zoller+Frohlich LARA 25200, GS200;

Mensi, HDS 4500 Leica, Iris 3D Optech;

Точность отсчета угла (горизонтального и вертикального, 0003<sup>0</sup>) - Сугах 2500 Суга.

### **Глава 3. Исследование организационно-технических и экономических аспектов внедрения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования для геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов и инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан**

#### **3.1. Выбор и обоснование объектов инженерной инфраструктуры, строящихся и эксплуатируемых в Республике Узбекистан, для возможного применения технологии трехмерного наземного лазерного сканирования**

Учитывая столь очевидные преимущества технологии лазерного сканирования, большой научно-практический интерес представляет анализ возможностей применения этой технологии при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации различных объектов, в первую очередь инженерной инфраструктуры, в Республике Узбекистан.

Как показал проведенный анализ, в нашей стране данная технология может найти применение в первую очередь в следующих областях.

**Горнодобывающая промышленность.** Путём совмещения моделей, созданных по данным разных циклов, вычисляются величина и направление деформации практически в любой точке поверхности. Многие объекты горной отрасли и строительства, начиная с отвалов горной породы и заканчивая дорожной отсыпкой или строительными котлованами, требуют определения объёмов. Выполнить съёмку и вычислить объём даже протяжённого и недоступного объекта с погрешностью менее 1% можно в течение нескольких часов.

**Маркшейдерия.** Высокая производительность и оперативность процесса лазерного сканирования совместно с возможностью оперативного контроля полевых измерений позволяет решать задачи по предупреждению различного рода аварий. Отдельной сферой применения технологии лазерного сканирования является контрольно-учетная функция, например, получая трехмерную цифровую модель карьера, решаются задачи вычисления объёмов добычи полезного ископаемого. Имея данные, полученные при помощи лазерного сканера, возможно постоянное редактирование модели карьера после каждого взрыва очередного блока и выемки породы или руды. Многие сканеры позволяют получать модель объекта с точностью от сантиметра и меньше, что более чем достаточно, для поверхности склонов карьеров имеющих не простую форму.

**Нефтегазодобывающая промышленность.** Результаты лазерного сканирования сооружений нефтегазового комплекса могут быть использованы для решения целого ряда задач: восстановление исполнительной документации, инвентаризация оборудования, обнаружение проектных несоответствий, проектирование дополнительных установок, деформационный мониторинг сооружений, определение реальных объемов емкостей, мониторинг воздушных переходов, построение цифровых моделей объектов, контроль деформаций и отклонений хранилищ ГСМ, контроль за креном и осадкой бурильных установок на месторождениях без прерывания производственных процессов, оказание услуг по сопровождению строительных и инженерных работ на месторождениях и иных объектах, применение специального оборудования позволит осуществлять обмерные и иные работы осуществляемые в полевых условиях.

Для нефтегазовой отрасли присущи объекты, состоящие из большого количества трубопроводов, кабельных эстакад, производственных зданий, резервуаров и др. Применение традиционных методов съемки для крупномасштабного картографирования и тем более создания трехмерных моделей объектов нефтегазодобычи требует большого количества времени. Для решения этих задач более эффективной является технология наземного лазерного сканирования [12].

Теоретические исследования и практический опыт выполнения сканерной съемки объектов нефтегазовой отрасли позволили сформулировать требования к наземным лазерным сканерам с целью создания крупномасштабных топографических планов и построения трехмерных векторных моделей, представленные в таблице 3.

Практический опыт [9] показал, что использование технологии наземного лазерного сканирования с целью крупномасштабного картографирования нефтегазоносных районов позволяет сократить время выполнения полевых работ в 4-4,5 раза. Однако двумерные топографические планы позволяют получить намного меньше исходной информации для целей перепроектирования технологических объектов нефтегазодобычи по сравнению с трехмерными моделями.

На объектах нефтегазодобывающего комплекса эксплуатируется большое количество сварных вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС), используемых для хранения и учета нефтепродуктов. Данные резервуары имеют вместимость от 100 м<sup>3</sup> до 50000 м<sup>3</sup> и требуют проведения периодического технического диагностирования и проверок [4], а именно вертикальности, объема, деформации стенок и т.д. С этой целью по существующей методике, выполняются измерения различных параметров для отдельных точек резервуара, а промежуточные значения получают интерполированием.

Требования к техническим характеристикам НЛС для создания цифровых топографических планов и трехмерных моделей объектов нефтегазопромыслов

| Технические характеристики НЛС                    | Решаемые задачи   |   |
|---|---|---|
|   | Создание цифровых трехмерных моделей                                  | Создание цифровых топографических планов                              |
| Максимальная дальность действия, м                | >50   | >100  |
| Точность измерения расстояний, мм                 | ≤15   | ≤50   |
| Расходимость лазерного излучения, мрад            | ≤0,25<br>(диаметр пятна ≤1,2см на расстоянии 50м)                     | ≤2<br>(диаметр пятна ≤20см на расстоянии 100м)                        |
| Скорость выполнения измерений, точек/с            | ≥4000<br>(позволяет получать 5×10 <sup>6</sup> точек за время ≤20мин) | ≥4000<br>(позволяет получать 5×10 <sup>6</sup> точек за время ≤20мин) |
| Минимальный угловой шаг сканирования, градус      | ≤0,06<br>(линейный шаг ≤4 см на расстоянии 40м)                       | ≤0,1<br>(линейный шаг ≤7 см на расстоянии 40м)                        |
| Угол поля зрения в вертикальной плоскости, градус | ≥80   | ≥80   |
| Минимальная рабочая температура, °С               | ≥0  | ≥-10  |
| Класс защищенности                                | Не ниже IP42  | Не ниже IP42  |
| Класс безопасности лазера                         | Не ниже 3R  | Не ниже 3R  |

**Электроэнергетика.** С помощью лазерного сканирования выполняется съемка технологических площадок и определение геометрических параметров высоковольтного оборудования, математическое моделирование существующих ЛЭП в части изменения стрел провеса, габаритов, натяжений проводов, величин механической нагрузки на опоры и др. в условиях изменения климатических условий и электрической нагрузки. Мониторинг состояния растительности и выявление проблемных участков возможных замыканий. Подготовка данных для планирования мероприятий по очистке полосы отчуждения.

**Дорожное строительство.** Проведение съемок под проектирование, расчет объемов работ, мониторинг деформаций мостов, акведуков, переходов, эстакад, железнодорожного и трамвайного полотна, подсчет объемов работ, мониторинг

соответствия фактических работ плану. Планирование прокладки коммуникаций на предмет наличия препятствий до начала работ.

Наземные лазерные сканеры могут также с успехом применяться в **землеустройстве, геологии и археологии** и других областях.

Картографирование местности в двумерном пространстве во все времена являлось одним из основных направлений топографо-геодезического производства. Поэтому первой областью, где начали применяться наземные лазерные сканеры, стала **топография**. Основным преимуществом лазерного сканирования по сравнению с традиционными методами тахеометрической и даже спутниковой съемок является очень высокая производительность. Опыт показывает [12], что НЛС можно использовать как для целей картографирования малозастроенной местности, так и для территорий с высокой степенью загруженности объектами. Бесспорным преимуществом является то, что центр тяжести при крупномасштабном картографировании местности по данным наземного лазерного сканирования переносится на камеральную работу. При этом процесс полевых измерений сокращается в несколько раз. Однако технология наземного лазерного сканирования для картографирования территорий с высоким травяным покровом (свыше 40 см) является практически непригодной. Для таких территорий остаются, незаменимыми методы тахеометрической и спутниковой съемок. Опыт показывает, что использование наземных лазерных сканеров при выполнении работ по созданию крупномасштабных топографических планов позволяет более гибко подходить к выбору технологии съемки и значительно повысить производительность работ. Так две бригады из 3 человек за три месяца работы смогли выполнить съемку с целью создания топографических планов масштаба 1:500 на территорию третьей категории сложности площадью более 500 га, для малозастроенных – более 1000 га. Оценка точности созданных топографических планов выполнялась по контрольным пикетам и промерам между жесткозакрепленными контурами. Она показала, что полученные ЦТП удовлетворяют нормативным требованиям точности, предъявляемым к данному виду продукции, а также полнота и детальность нанесенной информации целиком соответствует результатам натурного обследования территорий. Все полученные картографические материалы были переданы заказчикам в полном объеме.

**Строительство.** Определение геометрических параметров зданий, сооружений и оборудования Деформационный мониторинг сложных и недоступных объектов.

**Архитектура и дизайн.** Подготовка документации для проектирования, фасадная съемка, создание трехмерных моделей объектов для сохранения объектов культурного наследия.

Памятники архитектуры стали одной из первых областей применения технологии наземного лазерного сканирования. В большинстве случаев таким объектам свойственно наличие сложных элементов (например, резные фасады), которые невозможно описать набором простых геометрических примитивов (с помощью цилиндров, сфер, плоскостей и т.д.). До недавнего времени для получения метрической информации в данной области применялись либо методы наземной фотограмметрии, либо натурные обмеры. Оба этих способа являются очень трудоемкими и в полной мере не позволяют создать детальную трехмерную модель объекта. Появление наземных лазерных сканеров позволило сократить трудозатраты на проведение измерений, а также качественно изменить вид выходной продукции.

С помощью созданных трехмерных моделей памятников архитектуры можно проводить их реставрацию, имея в наличии все геометрические параметры объекта. Во многих случаях такой вид информации бесценен.

Трехмерные модели объектов зданий и сооружений стали широко применяться в **градостроительстве**, в котором первостепенное значение имеет «силуэт города», под которым понимается не только общая городская панорама, но и совокупность ее отдельных картин, видимых с разных точек зрения, с различных уровней и при разных условиях освещения. Из единичных построек формируется общий силуэт города, причем ни одна из них не исчезает в этом силуэте бесследно. Город, лишенный выразительного силуэта, лишается самых крупных и самых лучших своих перспектив[22]. Поэтому при точечной застройке для того, чтобы не нарушить общий вид города, при проектировании новых зданий и сооружений используют трехмерные модели с наложенными на них реальными текстурами и цветом. Подобные модели эффективнее создавать при помощи технологии наземного лазерного сканирования.

Для проектирования точечной застройки можно применять технологию, которая основана на комплексном использовании данных, полученных по топографическим планам масштабов 1:500 или 1:1000 и в результате наземного лазерного сканирования. В этом случае для определения планового положения объектов применяется цифровой план, а данные о их высоте получают из наземного лазерного сканирования. Данная технология моделирования зданий и сооружений включает следующие этапы [14]:

наземное лазерное сканирование;

фотосъемка цифровой камерой объектов для получения текстур;  
векторизация растрового изображения цифрового топографического плана и классификация их по тематическим слоям;  
определение высоты зданий и сооружений по данным наземного лазерного сканирования;  
преобразование двумерных полилиний в трехмерные модели объектов с использованием данных о высоте;  
текстурирование моделей зданий и сооружений.

Представленная технология наземного лазерного сканирования аналогична применяемой при создании топографических планов. Но при этом планово-высотное обоснование не создается, поскольку данные лазерного сканирования используются только для определения высоты зданий, что исключает необходимость внешнего ориентирования сканов, а следовательно и создания геодезического обоснования лазерной съемки. Параллельно с наземным лазерным сканированием выполняется цифровое фотографирование объектов для того, чтобы создать модель, приближенную к реальной [14].

Векторизация цифрового растрового топографического плана осуществляется в виде полилиний, которые затем преобразуются в трехмерные модели объектов, путем «выдавливания» (от английского слова «extrude») с использованием данных наземного лазерного сканирования, по которым определяются высоты объектов, как разности отметок точек, взятых у основания, например, здания и на его крыше [14].

На последнем этапе работ выполняется текстурирование трехмерной модели, которое заключается в наложении текстур на поверхность моделей объектов с соблюдением их правильной ориентации [14].

Такая технология позволяет создать трехмерную модель с точностью, соответствующей точности топографического плана, что удовлетворяет требованиям при проектировании застройки городских территорий [14].

С применением наземного лазерного сканера могут выполняться такие следующие виды работ: контроль строительства, корректировка проекта в процессе строительства, оптимальное планирование и контроль перемещения, установки и удаления крупных частей сооружений или оборудования, монтажные работы и их корректировка, исполнительная съемка в процессе строительства и после его окончания, мониторинг состояния объекта при эксплуатации, точное профилирование и построение трехмерных моделей различных объектов.

Трехмерные метрические модели, созданные по данным наземного лазерного сканирования, применяются в системах мониторинга деформаций сложных инженерных сооружений, таких как шлюзы, плотины, мосты, атомные электростанции и др. Основу этой системы составляет сеть датчиков (щелемеров), которые устанавливаются на стыках отдельных элементов сооружения и могут фиксировать относительные смещения элементов сооружения по осям координат X, Y и Z с точностью до 0,1 мм. Данные с этих датчиков непрерывно поступают на сервер приема информации, где оператор их анализирует и принимает необходимые решения.

Технология наземного лазерного сканирования, используемая для создания трехмерных моделей объектов инженерной инфраструктуры, топографических планов сложных загруженных территорий, значительно повышает производительность труда и уменьшает затраты времени, особенно на полевые работы.

### **3.2. Разработка рекомендаций по внедрению технологии трехмерного наземного лазерного сканирования в Республике Узбекистан**

Как показал анализ зарубежного опыта внедрения технологии лазерного сканирования (например, в Сибирской Государственной Геодезической Академии), наиболее оптимальным на сегодняшний день является создание при одном из ведущих вузов страны специализированного центра лазерного сканирования.

#### **3.2.1. Организация специализированного центра наземного лазерного сканирования**

**Цель проекта** - создание предприятия «Центр измерений и мониторинга объектов», которое с применением самого современного оборудования и технологий будет решать задачи, связанные со съемкой и мониторингом деформации сооружений, а также созданием трехмерных моделей для проектирования и картографии.

Центр будет оснащен оборудованием, не имеющим аналогов в республике, и за счет его применения будет решать задачи на один-три порядка быстрее других предприятий, работающих в республике в сферах топографо-маркшейдерских и картографических работ, мониторинга состояния сооружений, восстановления их

утерянных проектов, контроля точности строительства и других сферах деятельности. Центр также будет оснащен высокоэффективным программным обеспечением – как сопутствующим оборудованию, так и специально разработанным.

#### **Задачи, которые будет решать Центр:**

Определение геометрических параметров зданий, сооружений и оборудования.

Съёмка сложных объектов с высокой плотностью.

Построение 3D-моделей для использования в проектировании, управлении, планировании.

Создание проектов реконструкции.

Деформационный мониторинг сложных и недоступных объектов.

Повышение экономической эффективности ведения работ.

и др.

Оснащение Центра будет осуществляться современным измерительным оборудованием с применением лазерных технологий (сканеры и тахеометры) с GPS.

Центр будет оказывать услуги по наземному лазерному сканированию и замерам различных объектов.

#### **Предпосылки для реализации проекта.**

В республике отсутствуют предприятия и организации, решающие задачи трехмерного измерения объектов с привязкой к местности с применением высокопроизводительного оборудования (лазерных сканеров и так называемых «умных станций»). Ряд предприятий имеют электронные тахеометры, используемые преимущественно для своих нужд. При этом они, как правило, не оснащены вспомогательным оборудованием и программным обеспечением, позволяющих повысить точность и скорость измерений.

Более того, значительная часть потенциального рынка вообще не охвачена услугами. Например, подавляющее большинство сооружений не проходит регулярного мониторинга на предмет сдвигов и деформаций, что не соответствует современным стандартам безопасности. А в тех случаях, когда такие замеры производятся, это делается при помощи теодолитов и других устаревших приборов.

Лазерный сканер может делать топографическую съемку участка местности с сооружениями на нем в привязке к абсолютным координатам с переносом результатов в трехмерную цифровую модель за считанные минуты. Традиционная съемка занимает часы и дни при несопоставимо более низком качестве выходной информации.

Сканирование сооружений с составлением трехмерных моделей в республике вообще не осуществляется.

Центр может оказывать услуги как конечным потребителям, так и в качестве субподрядчика проектных институтов, топографо-маркшейдерских и картографических организаций. Кроме того, следует ожидать, что значительный объем работ может быть инициирован правоохранительными органами.

**Основные преимущества применения измерительного оборудования с лазерными технологиями (сканеры и тахеометры) с GPS:**

а) значительное (минимум на порядок) сокращение времени выполнения работ по сравнению с маркшейдерским оборудованием без лазерных технологий;

немедленная привязка результатов съемки (трехмерных координат точек) к мировой геоцентрической системе координат WGS 84 с возможностью дальнейшей трансформации в систему координат 1942 года;

б) нет необходимости в проведении съемки большим количеством приборов;

в) сокращение количества занятых работников;

г) сокращение времени проведения замеров за счет сокращения количества наблюдений;

д) значительное увеличение точности проводимых измерений;

е) сокращение времени на развертывание и свертывание оборудования на месте;

ж) система позволяет автоматически переносить результаты измерений в электронный формат;

з) современное программное обеспечение поддерживает новые форматы для импорта и экспорта данных;

д) не требуется привлечения дополнительной рабочей силы для переноса результатов измерений в электронный формат и создания моделей. Применяемое программное обеспечение позволяет осуществлять индивидуальное моделирование отснятых пространственных объектов с минимальным вмешательством людей, поддерживает автоматическое моделирование конструкций, объектов и позволяет переносить результаты в систему AutoCAD.

**Необходимое оборудование.**

Для производства геодезических, топографических и специальных инженерно-геодезических работ с применением технологии лазерного сканирования с максимально возможным охватом объектов необходимо следующее геодезическое и другое оборудование:

Геодезическое:

наземный лазерный сканер – 1 комплект;

маркшейдерский импульсный лазерный сканер дальнего радиуса действия – 1 комплект;

ГНСС (GPS) приемники, одночастотные – комплект из 2-х приемников (при наличии двух сканеров – 2 комплекта с необходимым ПО для постобработки и трансформаций и т.д.);

электронный тахеометр («Smartstation» с встроенной системой GPS и отражательной вехой) средней точности с функцией безотражательного измерения лазером мин 400 м. (при наличии двух сканеров – 2 комплекта);

цифровой нивелир.

Компьютерное:

графическая рабочая ГИС-станция с двумя мониторами – 2

мощный полевой ноутбук для подключения к лазерному сканеру в полевых условиях для управления сканером. При поездках в регионы будет использоваться для предоставления оперативной информации Заказчику.

многофункциональное устройство ввода-вывода графической и текстовой информации (сканер, плоттер, принтер) – 1

блоки бесперебойного питания - 2

Программное обеспечение (зависит от оборудования).

Автотранспорт, легковой автомобиль для полевых работ, автомобиль повышенной проходимости, дополнительный служебный автомобиль.

### **Необходимый персонал.**

Для производства геодезических, топографических и специальных инженерно-геодезических работ с применением технологии лазерного сканирования с максимально возможным охватом объектов необходим следующий персонал:

а) для полевых работ:

2 бригады в составе: инженер – 1, помощник (техник) – 1. Как минимум один из работников должен уметь водить автомобиль

б) для камеральных работ: инженер – 2.

Персонал должен пройти специальное обучение (обычно входит в условия поставки оборудования). Персонал, имеющий опыт эксплуатации подобного оборудования имеется. После определения марки приобретаемого оборудования потребуется направить персонал на обучение работе на конкретном оборудовании.

## Некоторые необходимые организационно-технические условия производства работ.

Для организации производства полевых и камеральных работ необходимо иметь:

- лицензию на право осуществления геодезической деятельности;
- офисное помещение для обработки данных;
- специализированное помещение для хранения данных;
- специализированное охраняемое помещение для хранения приборов (геокамера);
- доступ в Интернет (usb modem).

### 3.2.2. Расчет затрат на создание специализированного центра наземного лазерного сканирования

В настоящее время в Республике Узбекистан указанное оборудование практически не применяется. В связи с этим расчет окупаемости осуществлен с учетом минимальной загрузки оборудования.

Таблица 4

#### Затраты на приобретение оборудования.

| № п/п | Наименование оборудования | Стоимость в тыс.долл. | Стоимость в млн. сум* |
|-------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1     | Лазерный Тахеометр        | 100                   | 179                   |
| 2     | Лазерный сканнер          | 185                   | 330                   |
| 3     | Компьютеры и оборудование | 24                    | 43                    |
| 4     | Программное обеспечение   | 45                    | 81                    |
| 5     | Автотранспорт             |                       | 147                   |
|       | <b>Итого</b>              | <b>354</b>            | <b>780</b>            |

Цены рассчитаны ориентировочно, без учета таможенных пошлин и платежей.  
Фонд оплаты труда с учетом ЕСП 8,75 млн.сум.

Таблица 5

| Перечень персонала                        | Кол-во | Оклад | Сумма        |
|---|--------|-------|--------------|
| Руководитель                              | 1      | 1 000 | 1 000        |
| Инженер по работе с полевым оборудованием | 2      | 800   | 1 600        |
| Водитель                                  | 2      | 550   | 1 100        |
| Бухгалтер-кассир                          | 1      | 750   | 750          |
| Специалист по обработке информации        | 3      | 850   | 2 550        |
| <b>Итого</b>                              |        |       | <b>7 000</b> |

При расчете доходной части расчетный тариф на оказываемые услуги принят следующий (расчетно):

Ожидаемый доход в 1 год составит 538,3 млн.сум.

Таблица 6

| Наименование работ  | Стоимость обследования 1 объекта | Количество обследуемых объектов в год | Ожидаемый доход |
|---|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Фасадная съемка   | 200                              | 100                                   | 20 000          |
| Фасадная съёмка 3D  | 350                              | 100                                   | 35 000          |
| Высокоточное нивелирование  | 860                              | 55                                    | 47 300          |
| Определение горизонтальных смещений, кренов   | 860                              | 50                                    | 43 000          |
| Лазерное сканирование фасадов зданий  | 1 500                            | 50                                    | 75 000          |
| Лазерное сканирование и трехмерное моделирование промышленных площадок, технологического оборудования | 6 000                            | 50                                    | 30 000          |
| Прочие доходы   |                                  |                                       | 18 000          |
| <b>Итого</b>  |                                  |                                       | <b>538 300</b>  |

По состоянию на сегодняшний день данное оборудование в Республике Узбекистан не нашло пока широкого применения, в связи с этим в доходной части не учтены все услуги которые могут быть оказаны производственным предприятиям с применением данного оборудования.

Расчеты приведены без учета приобретения дополнительного оборудования. Перечень дополнительно приобретаемого оборудования будет определяться в процессе работы исходя из финансовых возможностей и складывающегося пакета заказов.

В расходную часть в первый год работы включены расходы на привлечение специалистов со стороны и прочих подрядных организаций.

При обслуживании предприятий различных отраслей промышленности необходимо привлечение специалистов различных направлений. На первоначальном этапе целесообразно привлечение необходимых специалистов на временной основе. После определения конкретного рынка и направления деятельности возможно расширения штата Центра.

Таблица 7

**Расчет ожидаемых расходов  
Центра измерений и мониторинга объектов  
при Туринском политехническом университете в городе Ташкенте в 1 год**

| Наименование показателей                        | тыс.сум        |                |                |                |                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | За год         | 1 квартал      | 2 квартал      | 3 квартал      | 4 квартал      |
| Зарботная плата основного персонала, тыс.сум    | 78 750         | 19 688         | 19 688         | 19 688         | 19 688         |
| Начисление заработной платы, тыс.сум            | 63 000         | 15 750         | 15 750         | 15 750         | 15 750         |
| ЕСП от ФОТ, тыс.сум                             | 15 750         | 3 938          | 3 938          | 3 938          | 3 938          |
| Расходные материалы, тыс.сум                    | 33 000         | 9 000          | 9 000          | 9 000          | 6 000          |
| Расходы на обслуживание техники, тыс.сум        | 22 750         | 750            | 750            | 750            | 20 500         |
| Расходы на обслуживание автотранспорта, тыс.сум | 20 000         | 4 500          | 5 100          | 5 700          | 4 700          |
| на приобретение ГСМ, тыс.сум                    | 14 000         | 3 000          | 3 600          | 4 200          | 3 200          |
| на техническое обслуживание, тыс.сум            | 6 000          | 1 500          | 1 500          | 1 500          | 1 500          |
| Зарботная плата АУП, тыс.сум                    | 26 250         | 6 563          | 6 563          | 6 563          | 6 563          |
| Начисление заработной платы, тыс.сум            | 21 000         | 5 250          | 5 250          | 5 250          | 5 250          |
| ЕСП от ФОТ, тыс.сум                             | 5 250          | 1 313          | 1 313          | 1 313          | 1 313          |
| Амортизация основных средств, тыс.сум           | 141 163        | 35 291         | 35 291         | 35 291         | 35 291         |
| Расходы на содержание офиса, тыс.сум            | 3 000          | 750            | 750            | 750            | 750            |
| Канцелярские товары, тыс.сум                    | 1 200          | 300            | 300            | 300            | 300            |
| Электроэнергия, тыс.сум                         | 1 200          | 300            | 300            | 300            | 300            |
| Прочие расходы, тыс.сум                         | 600            | 150            | 150            | 150            | 150            |
| Налоговые платежи, тыс.сум                      | 37 681         | 7 840          | 11 151         | 11 151         | 7 539          |
| Оплата услуг подрядчиков, тыс.сум               | 60 000         | 15 000         | 15 000         | 15 000         | 15 000         |
| Прочие расходы, тыс.сум                         | 3 000          | 750            | 750            | 750            | 750            |
| Страхование имущества, тыс.сум                  | 12 151         | 12 151         | 0              | 0              | 0              |
| <b>ИТОГО расходы, тыс.сум</b>                   | <b>437 745</b> | <b>112 282</b> | <b>104 042</b> | <b>104 642</b> | <b>116 780</b> |

Таблица 8

**Расчет ожидаемых расходов Центра измерений и мониторинга объектов  
при Туринском политехническом университете в городе Ташкенте за 4 года**

| Наименование показателей                        | тыс.сум          |                |                |                |                |
|---|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | За 4 года        | За 1 год       | За 2 год       | За 3 год       | За 4 год       |
| Заработная плата основного персонала, тыс.сум   | 422 730          | 78 750         | 94 500         | 113 400        | 136 080        |
| Начисление заработной платы, тыс.сум            | 338 184          | 63 000         | 75 600         | 90 720         | 108 864        |
| ЕСП от ФОТ, тыс.сум                             | 84 546           | 15 750         | 18 900         | 22 680         | 27 216         |
| Расходные материалы, тыс.сум                    | 177 144          | 33 000         | 39 600         | 47 520         | 57 024         |
| Расходы на обслуживание техники, тыс.сум        | 124 300          | 22 750         | 33 300         | 28 850         | 39 400         |
| Расходы на обслуживание автотранспорта, тыс.сум | 113 000          | 20 000         | 21 400         | 31 700         | 39 900         |
| на приобретение ГСМ, тыс.сум                    | 80 000           | 14 000         | 15 400         | 22 100         | 28 500         |
| на техническое обслуживание, тыс.сум            | 33 000           | 6 000          | 6 000          | 9 600          | 11 400         |
| Заработная плата АУП, тыс.сум                   | 140 910          | 26 250         | 31 500         | 37 800         | 45 360         |
| Начисление заработной платы, тыс.сум            | 112 728          | 21 000         | 25 200         | 30 240         | 36 288         |
| ЕСП от ФОТ, тыс.сум                             | 28 182           | 5 250          | 6 300          | 7 560          | 9 072          |
| Амортизация основных средств, тыс.сум           | 564 654          | 141 163        | 141 163        | 141 163        | 141 163        |
| Расходы на содержание офиса, тыс.сум            | 15 283           | 3 000          | 3 480          | 4 056          | 4 747          |
| Канцелярские товары, тыс.сум                    | 6 442            | 1 200          | 1 440          | 1 728          | 2 074          |
| Электроэнергия, тыс.сум                         | 6 442            | 1 200          | 1 440          | 1 728          | 2 074          |
| Прочие расходы, тыс.сум                         | 2 400            | 600            | 600            | 600            | 600            |
| Налоговые платежи, тыс.сум                      | 180 140          | 37 681         | 39 137         | 46 964         | 56 357         |
| Оплата услуг подрядчиков, тыс.сум               | 306 000          | 60 000         | 72 000         | 84 000         | 90 000         |
| Прочие расходы, тыс.сум                         | 12 000           | 3 000          | 3 000          | 3 000          | 3 000          |
| Страхование имущества, тыс.сум                  | 48 604           | 12 151         | 12 151         | 12 151         | 12 151         |
| <b>ИТОГО расходы, тыс.сум</b>                   | <b>2 104 765</b> | <b>437 745</b> | <b>491 231</b> | <b>550 605</b> | <b>625 183</b> |

Таблица 9

**Расчет ожидаемых доходов Центра измерений и мониторинга объектов  
при Туринском политехническом университете в городе Ташкенте в 1 год (тыс.сум)**

| <b>Наименование показателей</b>  | <b>За 1 год</b> | <b>1 квартал</b> | <b>2 квартал</b> | <b>3 квартал</b> | <b>4 квартал</b> |
|--|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Фасадная съёмка</b>   |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 100             | 20               | 30               | 30               | 20               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 20 000          | 4 000            | 6 000            | 6 000            | 4 000            |
| <b>Фасадная съёмка 3D</b>  |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 100             | 20               | 30               | 30               | 20               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 35 000          | 7 000            | 10 500           | 10 500           | 7 000            |
| <b>Высокоточное нивелирование</b>  |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 55              | 15               | 15               | 15               | 10               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 47 300          | 12 900           | 12 900           | 12 900           | 8 600            |
| <b>Определение горизонтальных смещений, кренов</b>   |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 50              | 10               | 15               | 15               | 10               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 43 000          | 8 600            | 12 900           | 12 900           | 8 600            |
| <b>Лазерное сканирование фасадов зданий</b>  |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 50              | 10               | 15               | 15               | 10               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 75 000          | 15 000           | 22 500           | 22 500           | 15 000           |
| <b>Лазерное сканирование и трехмерное моделирование<br/>промышленных площадок, технологического оборудования</b> |                 |                  |                  |                  |                  |
| количество объектов, ед  | 50              | 10               | 15               | 15               | 10               |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                 |                  |                  |                  |                  |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 300 000         | 60 000           | 90 000           | 90 000           | 60 000           |
| Прочие доходы, тыс.сум   | 18 000          | 4 500            | 4 500            | 4 500            | 4 500            |
| <b>Итого доходы, тыс.сум</b>   | <b>538 300</b>  | <b>112 000</b>   | <b>159 300</b>   | <b>159 300</b>   | <b>107 700</b>   |

Таблица 10

**Расчет ожидаемых доходов Центра измерений и мониторинга объектов  
при Туринском политехническом университете в городе Ташкенте за 4 года**

| <b>Наименование показателей</b>  | <b>За 4 года</b> | <b>За 1 год</b> | <b>За 2 год</b> | <b>За 3 год</b> | <b>За 4 год</b> |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Фасадная съёмка</b>   |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 400              | 100             | 100             | 100             | 100             |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 98 624           | 20 000          | 21 600          | 25 920          | 31 104          |
| <b>Фасадная съёмка 3D</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 550              | 100             | 150             | 150             | 150             |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 211 904          | 35 000          | 48 600          | 58 320          | 69 984          |
| <b>Высокоточное нивелирование</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 550              | 55              | 165             | 165             | 165             |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 667 119          | 47 300          | 170 280         | 204 336         | 245 203         |
| <b>Определение горизонтальных смещений, кренов</b>   |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 200              | 50              | 50              | 50              | 50              |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 230 824          | 43 000          | 51 600          | 61 920          | 74 304          |
| <b>Лазерное сканирование фасадов зданий</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 320              | 50              | 90              | 90              | 90              |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 267 629          | 75 000          | 52 920          | 63 504          | 76 205          |
| <b>Лазерное сканирование и трехмерное моделирование<br/>промышленных площадок, технологического оборудования</b> |                  |                 |                 |                 |                 |
| количество объектов, ед  | 215              | 50              | 55              | 55              | 55              |
| средняя стоимость съёмки 1 объекта, тыс.сум  |                  |                 |                 |                 |                 |
| Стоимость оказываемых услуг, тыс.сум   | 1 000 700        | 300 000         | 192 500         | 231 000         | 277 200         |
| <b>Прочие доходы, тыс.сум</b>  | <b>96 624</b>    | <b>18 000</b>   | <b>21 600</b>   | <b>25 920</b>   | <b>31 104</b>   |

Таблица 11

**Ожидаемый финансовый результат деятельности  
Центра измерений и мониторинга объектов при Туринском политехническом университете в городе Ташкенте за 4 года**

| <b>Наименование показателей</b>                 | <b>За 4 года</b> | <b>1 год</b>   | <b>2 год</b>   | <b>3 год</b>   | <b>4 год</b>   |
|---|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Доходная часть</b>                           |                  |                |                |                |                |
| <b>Доходы, тыс.сум</b>                          | <b>2 573 424</b> | <b>538 300</b> | <b>559 100</b> | <b>670 920</b> | <b>805 104</b> |
| <b>Расходная часть</b>                          |                  |                |                |                |                |
| Заработная плата основного персонала, тыс.сум   | 422 730          | 78 750         | 94 500         | 113 400        | 136 080        |
| Расходные материалы, тыс.сум                    | 177 144          | 33 000         | 39 600         | 47 520         | 57 024         |
| Расходы на обслуживание техники, тыс.сум        | 124 300          | 22 750         | 33 300         | 28 850         | 39 400         |
| Расходы на обслуживание автотранспорта, тыс.сум | 113 000          | 20 000         | 21 400         | 31 700         | 39 900         |
| Заработная плата АУП, тыс.сум                   | 140 910          | 26 250         | 31 500         | 37 800         | 45 360         |
| Амортизация основных средств, тыс.сум           | 564 654          | 141 163        | 141 163        | 141 163        | 141 163        |
| Расходы на содержание офиса, тыс.сум            | 15 283           | 3 000          | 3 480          | 4 056          | 4 747          |
| Налоговые платежи, тыс.сум                      | 180 140          | 37 681         | 39 137         | 46 964         | 56 357         |
| Оплата услуг подрядчиков, тыс.сум               | 306 000          | 60 000         | 72 000         | 84 000         | 90 000         |
| Прочие расходы, тыс.сум                         | 12 000           | 3 000          | 3 000          | 3 000          | 3 000          |
| Страхование имущества, тыс.сум                  | 48 604           | 12 151         | 12 151         | 12 151         | 12 151         |
| <b>ИТОГО расходы, тыс.сум</b>                   | <b>2 104 765</b> | <b>437 745</b> | <b>491 231</b> | <b>550 605</b> | <b>625 183</b> |
| <b>Результат</b>                                | <b>468 659</b>   | <b>100 555</b> | <b>67 869</b>  | <b>120 315</b> | <b>179 921</b> |

### **3.3. Выводы**

1. Наиболее оптимальной на сегодняшний день для Узбекистана формой внедрения технологии наземного лазерного сканирования является создание при одном из ведущих учебных или научных учреждений специализированного Центра лазерного сканирования.

2. Выполненные технико-экономические расчеты подтвердили соответствие срока окупаемости в 3,5 года нормативным требованиям, что свидетельствует о высокой экономической эффективности технологии наземного лазерного сканирования.

## Заключение

Основные результаты работы и рекомендации по их практическому применению заключаются в следующем.

1. Проведенный анализ современного состояния геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры позволяет сделать следующие выводы:

в последние годы в Республике Узбекистан наблюдается бурный рост объемов строительства различных объектов инженерной инфраструктуры: автомобильных и железных дорог, магистральных трубопроводов, объектов телекоммуникаций, энергетики и др.;

растущие объемы, разнообразие объектов инженерной инфраструктуры, комплексный подход к их проектированию и строительству предъявляют на современном этапе особые повышенные требования к технологиям геодезического обеспечения изысканий, проектирования, строительства и последующей эксплуатации этих объектов;

выполнение этих требований возможно сегодня только на основе широкого внедрения новейших цифровых геодезических технологий, таких как спутниковое позиционирование, электронная тахеометрия, трехмерное наземное лазерное сканирование;

наиболее перспективной и эффективной среди современных цифровых технологий для использования при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации различных объектов инженерной инфраструктуры является технология трехмерного наземного лазерного сканирования.

2. Анализ технических параметров с учетом разработанной классификации позволяет сделать следующие выводы:

наиболее подходящими моделями наземных лазерных сканеров для решения задач геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры являются наземные лазерные сканеры, обладающие следующими техническими параметрами:

диапазон действия (минимальная дальность – 1 м.) - IMAGER 5003 Zoller+Frohlich, S 10, Mensi, Scan Station Leica, HDS 4500 Leica,

диапазон действия (максимальная дальность – 1 м.) - LMS Z-420 Riegl, Iris 3D, Iris<sup>6</sup>3D Optech,

точность линейных измерений, 3мм - IMAGER 5003 Zoller+Frohlich LARA 25200, GS200, Mensi, HDS 4500 Leica, Iris 3D Optech,

точность отсчета угла (горизонтального и вертикального , 0003<sup>0</sup>) - Сугах 2500 Суга.

3. Наиболее оптимальной на сегодняшний день для Узбекистана формой внедрения технологии наземного лазерного сканирования является создание при одном из ведущих учебных или научных учреждений специализированного Центра лазерного сканирования.

4. Выполненные технико-экономические расчеты подтвердили соответствие срока окупаемости в 3,5 года нормативным требованиям, что свидетельствует о высокой экономической эффективности технологии наземного лазерного сканирования.

## Литература

1. Каримов И.А. «Все наши устремления и программы — во имя дальнейшего развития Родины и повышения благосостояния народа» на заседании правительства по итогам социально-экономического развития страны в 2010 году и важнейшим приоритетам на 2011 год // Народное слово, 13.08.2011г.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова № ПП-1446 "Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах"
3. Батраков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника»/ С.И. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 448с.: ил.
4. ГОСТ 8.570-2000 Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки. – Введен 01.01.2002.– Минск, 2000.
5. Грунин, А.Г. Наземная лазерная сканирующая система – IRLIS 3D/ А.Г. Грунин// Геопрофи. – 2003. – №2. – С.23.
6. Киктева О.В. Анализ возможности применения технологии наземного лазерного сканирования при геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры в Республике Узбекистан.
7. Кирильчик Т.М. Пимшина. Технология электронно-блочной тахеометрии.
8. Комиссаров, А.В. Исследование стабильности работы блока лазерного дальномера сканера Riegl LMS Z-360/ А.В. Комиссаров// Сб. науч. тр. аспирантов и молодых ученых Сиб. гос. геодез. акад.. Вып. 2/ Под общ. ред. Т.А. Широковой; СГГА. – Новосибирск, 2005. – С. 62-66.
9. Комиссаров, А.В. Исследование точности построения цифровой модели рельефа по данным наземного лазерного сканирования / А.В. Комиссаров// ГЕО-Сибирь-2006. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. материалов междунар. науч. конгресса. «ГЕО-Сибирь-2006», 24-28 апр. 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 150-153.
10. Комиссаров, А.В. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования / А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова, В.А. Середович, А.В. Середович, Г.Н. Ткачева, С.С. Студенков// Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 12-14.

11. Комиссаров, А.В. Получение метрической информации об объектах архитектурного наследия по данным наземного лазерного сканирования/ А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров// Изв. вузов. Стр-во. – 2006. – № 5. – С. 112-115.
12. Комиссаров, Д.В. Использование технологии трехмерного лазерного сканирования при строительстве, эксплуатации и проектировании инженерных сооружений/ Д.В. Комиссаров, А.В. Середович// Стр-во и город. хоз-во Сибири. – 2004. – №10. – С. 72-73.
13. Комиссаров, Д.В. Технология построения трехмерных моделей городов на основе топографических планов / Д.В. Комиссаров, И.В. Гуненко, Ю.С. Салтыкова, В.А. Середович// ГЕО-Сибирь-2006. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2006», 24-28 апреля 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 153-157.
14. Комиссаров, Д.В. Технология топографической съемки технологических объектов с применением наземного лазерного сканирования /Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, О.А. Дементьева// ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. материалов науч. конгр. «ГеоСибирь-2005», 25-29 апр., 2005 г., г. Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 225-228.
15. Мельников, С.Р. Как мы выбирали лазерный сканер/ С.Р. Мельников// Геопрофи. – 2003. – №3. – С. 33-34.
16. РД 08-95-95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.– Введен 01.09.1995.– Москва, 1995.
17. Селиханович, В.Г. Геодезия: учебник для вузов, Ч. II/ В.Г. Селиханович. – М.: Недра, 1981. – 544с.
18. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования: Учеб. изд. - М.: ИКФ «Каталог», 2002. - 106 с.
19. Середович, А.В. Построение цифровых топографических планов объектов нефтедобычи с применением наземного лазерного сканирования /А.В. Середович// ГЕО-Сибирь-2006. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2006», 24-28 апреля 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. –С. 145-149.
20. Середович, В.А. Создание трехмерных метрических моделей с применением технологии лазерного сканирования для повышения оперативности и эффективности принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций/ В.А. Середович, Д.В. Комиссаров, А.В. Середович// Бизнес-технологии и ресурсы Сибири. – 2004. – авг.-сент. – С. 20-21.

21. Системы лазерного сканирования – MENSİ GS200: офиц. сайт компании НПП «Навгеоком». – Режим доступа: <http://www.agp.ru>
22. Соколов, А. М. Основные понятия архитектурного проектирования/ А.М. Соколов. – Л.: ЛГУ, 1976. – 192 с.
23. Спиридонов, А.И. Справочник-каталог геодезических приборов/А.И. Спиридонов, Ю.Н. Кулагин, Г.С. Крюков. – М.: Недра, 1984. – 238 с.
24. Технология создания трехмерных цифровых моделей различного назначения: офиц. сайт компании НПП «Геокосмос». – Режим доступа: <http://www.geokosmos.ru>
25. Хаметов Т.И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений: Учеб.пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 200 стр.
26. Хргиан, А.Х. К вопросу о теории боковой рефракции/А.Х. Хргиан// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1961. – № 3. – С. 17-22.
27. Цветков, В.Я. Цифровые карты и цифровые модели/В.Я. Цветков// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С. 147-155.
28. Шануров, Г.А. Геотроника. Наземные спутниковые радиоэлектронные средства и методы выполнения геодезических работ: учеб. пособие/Г.А. Шануров, С.Р. Мельников. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2001. – 136 с.: ил.
29. A new calibration system of a non-metric digital camera/ R. Matsuoka и др.// Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, pp 130-137, Zurich, Switzerland, September 22-25, 2003.
30. Callidus CP3200 Specs – Callidus CP 3200 — Technical Specifications: сайт Callidus precision systems. – Режим доступа: [http://www.callidus.de/en/cp3200/techn\\_daten.html](http://www.callidus.de/en/cp3200/techn_daten.html).
31. Cavity monitoring system: сайт Optech Inc. – Режим доступа: <http://www.optech.on.ca/PDF/CMSbrochure.pdf>
32. GS100 3D laser scanner: сайт Mensi. – Режим доступа: <http://www.mensi.com/Website2002/Specs/SpecG100.pdf>.
33. GS200 3D laser scanner: сайт Mensi. – Режим доступа: <http://www.mensi.com/Website2002/Specs/SpecG200.pdf>.
34. HDS4500 3D laser scanner: сайт Leica Geosystems HDS Inc. – Режим доступа: [http://www.cyra.com/products/HDS4500\\_description.html](http://www.cyra.com/products/HDS4500_description.html)
35. Hein, G.W. From GPS and GLONASS via EGNOS to Gallileo-positioning and navigation in the third millennium/ G.W. Hein// GPS Solutions. – 2000. Vol. 3, № 4. – P. 39-47. Англ.

36. Laser mirror scanner LMS-Z210 technical documentation and users instructions. –Riegl Austria, 2002.
37. Laser mirror scanner LMS-Z360 technical documentation and users instructions. –Riegl Austria, 2004.
38. Laser mirror scanner LMS-Z420 technical documentation and users instructions. – Riegl Austria, 2006.
39. Laser scanning and modeling – industrial and architectural application/ M. Mettenleiter и др.// Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, PP. 252-259, Zurich, Switzerland, September 22-25, 2003.
40. Recent advances in I-Site product technology/ J. Johnson, и др.// Procs. 6th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, PP. 260-267, Zurich, Switzerland, September 22-25, 2003.
41. Rietdorf, A. A concept for the calibration of terrestrial laser scanners/ A. Rietdorf, F. Gielsdorf, L. Gruending// INGEO 2004 and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, November 11-13, 2004.
42. S10/S25 high accuracy scanner: сайт Mensi. – Режим доступа: <http://www.mensi.com/Website2002/Specs/SSeries.pdf>
43. Schlenker, G. Laser Safety: сайт the University of Kentucky. – Режим доступа: [http://ehs.uky.edu/radiation/laser\\_fs.html](http://ehs.uky.edu/radiation/laser_fs.html)
44. Technical data Imager: сайт Zoller+Fr– hlich GMBH. – Режим доступа: [http://www.3d-aserscan.com/Z\\_F\\_IMAGER\\_E.pdf](http://www.3d-aserscan.com/Z_F_IMAGER_E.pdf)