

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

УДК _____



ИДИАТУЛИНА РЕГИНА ЭРИКОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РАЗРАБОТКА
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ
СКАНЕРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
ЗАДАЧ**

5A311502 –“Геодезия и картография”(Прикладная геодезия)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра по специальности

Заведующий отделом
магистратуры _____

к.э.н., доц. Саидов М.
« ____ » _____ 2015г.

Научный
руководитель _____
к.т.н., доц. Авчиев Ш.К.
« ____ » _____ 2015г.

Заведующий
кафедрой _____

Назаров Б.Р.
« ____ » _____ 2015г.

Консультант

Директор ГУП «Markaziy
aerogeodeziya» Бекбаев Г.К.
« ____ » _____ 2015г.

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ГК

Назаров Б.Р.

«18» 12 2014г.

ЗАДАНИЕ ПО ПОДГОТОВКЕ И НАПИСАНИЮ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистерская диссертация по теме: «Исследование возможностей и разработка рекомендаций по применению наземных лазерных сканеров для решения инженерно-геодезических задач»

название (с указанием материалов конкретных организаций)

утверждённая приказом ректората института от «16» 12 2014г.

за номером 2/373 по кафедре ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР

ЗА СЛУШАТЕЛЕМ Идиатулина Регина Эриковна

научный руководитель Авчиев Ш.К. к.т.н., доц.

Ф.И.О., занимаемая должность, учёная степень, учёное звание

должна быть подготовлена и представлена к предварительной защите на кафедре 8 июня 2015г.

число, месяц, год

В работе будут использованы: Справочная литература, КМК и ГОСТы,

Практические, балансовые и др. материалы,

статьи журналов, отчёты о научно-исследовательской работе,

стат. данные др. ведомств и т.п. за годы публикации, труды и т.д.

электронные ресурсы сети Интернет, материалы семинаров, презентации

законодательные и нормативные акты, инструкции и т.п.

В работе предусматривается: исследование современного состояния геодезического обеспечения строительства и эксплуатация инженерных сооружений в Узбекистане, применение современных технологий при геодезическом обеспечении строительства, изучение возможностей наземных лазерных сканеров и применение их при геодезическом обеспечении строительства, применение наземного сканирования на примере архитектурного ансамбля Регистан, сравнительный анализ лазерного сканирования с традиционными методами, а также разработка рекомендаций по применению наземных лазерных сканеров для решения инженерно-геодезических задач.

В работе предусматривается изложение следующих групп вопросов:

1-я группа - Анализ использования современных технологий при выполнении геодезических работ

(название)

2-я группа - Исследование возможностей применения наземных лазерных сканеров при решении различных инженерно-геодезических задач

(название)

3-я группа - Сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров с традиционными методами и приборами при решении инженерно-геодезических задач

(название)

4-я группа - Разработка рекомендаций по применению наземных лазерных приборов

(название)

Задание выдано 18.12.2014г.

число, месяц, год

Научный руководитель Авчиев Ш.К.

подпись, Ф.И.О., дата

Задание принял слушатель: Идиатулина Регина Эриковна

График завершения магистерской диссертации в первоначальном варианте

Глава I. Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатация инженерных сооружений

(название первой главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления)

Глава II. Исследование наземных лазерных сканеров с целью определения возможного применения их для решения инженерно-геодезических задач

(название второй главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления)

Глава III. Использование, анализ и разработка рекомендаций по внедрению технологии лазерного сканирования для решения геодезических задач

(название третьей главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления)

Предварительная защита диссертации на кафедре 8 июня 2015г.

срок, дата, год

Задание выдано к.т.н., доц. Авчиев Шухрат Курбантаевич

научный руководитель магистерской диссертации, Ф.И.О.

подпись, дата

Задание принял Идиатулина Регина Эриковна

Ф.И.О., слушателя, подпись

18.12.2014г.

Дата

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

Факультет: Инженерно-строительная инфраструктура
Кафедра: Геодезия и кадастр
Учебный год: 2013-2015г.г.
Магистрант: Идиатулина Регина Эриковна
Научный руководитель: к.т.н., доц. Авчиев Шухрат Курбантаевич
Специальность: 5А311502 Геодезия и картография

Аннотация к магистерской диссертации

В данной магистерской диссертации исследованы следующие задачи:

- анализ использования современных технологий при выполнении геодезических работ;
- исследование возможностей применения наземных лазерных сканеров при решении различных инженерно-геодезических задач;
- сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров с традиционными методами и приборами при решении инженерно-геодезических задач;
- разработка рекомендаций по применению наземных лазерных приборов.

In this master thesis the following tasks are investigated:

- the analysis of use of modern technologies when performing geodetic works;
- research of opportunities of use of land laser scanners at the solution of various engineering and geodetic tasks;
- the comparative analysis of use of land laser scanners with traditional methods and devices at the solution of engineering and geodetic tasks;
- development of recommendations about use of land laser devices.

Ушбу магистерлик диссертациясида қуйидаги масалалар кўрилди:

- геодезик ишларни бажаришда замонвий технологияларни қўллашни таҳлил қилиш;
- турли инженерлик-геодезик масалаларни ечишда ер устки лазерли сканерларни қўллаш имкониятларини тадқиқ қилиш;
- ер устки лазерли сканерларни ананавий усуллар ҳамда асбобларини инженерлик-геодезик масалаларини ечишда қўлланилишини таққослаш;
- ер устки лазерли сканерларни қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқариш;

Научный руководитель: Авчиев Ш. К.

Магистрант: Идиатулина Р.Э.

Содержание

Введение	3
Глава 1. Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатация инженерных сооружений	8
1.1. Современное состояние и перспектива развития строительства и эксплуатации инженерных сооружений	8
1.1.1. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в систему Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру	9
1.2. Роль, задачи и содержание геодезического обеспечения строительства	14
1.2.1. Этапы геодезических работ при сопровождении строительства	15
1.3. Анализ использования современных технологий при выполнении инженерно-геодезических работ	17
1.3.1. Технология спутникового позиционирования	17
1.3.2. Технология электронной тахеометрии	20
1.3.3. Технология трехмерного наземного лазерного сканирования	23
1.3.4. Технология цифрового нивелирования	25
1.4. Выводы по первой главе	27
Глава 2. Исследование наземных лазерных сканеров с целью определения возможного применения их для решения инженерно-геодезических задач	28
2.1. Теоретические основы технологии наземного лазерного сканирования	28
2.1.1. Принцип действия и обработка результатов наземных лазерных сканеров	28
2.1.2. Программное обеспечение лазерных сканеров	32
2.2. Развитие технологии и разнообразие видов лазерных сканеров	35
2.2.1. Классификация лазерных сканеров по принципам измерения	36

2.2.2. Технические характеристики наземных лазерных сканеров	38
2.2.3. Обзор и классификация моделей наземных лазерных сканеров	39
2.3. Влияние метрологических свойств объектов на точность наземной лазерной съемки	45
2.4. Применение наземных лазерных сканеров в строительстве и эксплуатации инженерных сооружений	47
2.5. Преимущества применения наземных лазерных сканеров	49
2.6. Перспектива применения наземных лазерных сканеров в Узбекистане	50
2.7. Выводы по второй главе	60
Глава 3. Использование, анализ и разработка рекомендаций по внедрению технологии лазерного сканирования для решения геодезических задач	62
3.1. Методология проведения работ по трёхмерному лазерному сканированию архитектурного ансамбля Регистан в городе Самарканд	62
3.1.1. Общая информация об архитектурном ансамбле Регистан	62
3.1.2. Процесс сканирования архитектурного ансамбля Регистан	63
3.2. Сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров и обработки данных с традиционными методами и приборами при решении геодезических задач	73
3.3. Разработка рекомендаций по применению наземных лазерных сканеров	77
3.4. Выводы по третьей главе	79
Заключение	81
Литература	83

Введение

С первых дней независимости Узбекистан выбрал свой собственный путь развития и осуществления комплексных, масштабных реформ во всех сферах, направленных на строительство демократического правового государства с социально ориентированной рыночной экономикой. Высокая эффективность «узбекской модели» реформирования и модернизации страны, основанной на определенных Президентом Исламом Каримовым пяти принципах и стратегии последовательных, поэтапных преобразований, признана сегодня во всем мире. Главной целью осуществляемых в Узбекистане масштабных экономических реформ является решительно следовать по пути широкомасштабных реформ и модернизации страны [1].

С 2000 года высокими темпами ведется строительство и реконструкция дорожно-транспортной и инженерно-коммуникационной инфраструктуры.

В системе осуществляемых в стране мер по реформированию социальной сферы особое место отводится дальнейшему улучшению жизни сельского населения за счет коренного изменения облика сельских населенных пунктов, строительства новых комфортабельных домов по типовым проектам, формирования, по сути, практически новой инфраструктуры на селе [2].

Сегодня по стране развернуто масштабное строительство новых и реконструкции уже существующих промышленных объектов [4], жилых домов, школ, медицинских учреждений, иных объектов социально-бытового назначения. Результаты реализации этих мероприятий зависят от исполнителя, насколько строительная организация зарекомендовала себя, какова ее позиция на рынке, какие ранее выполняла заказы, в какой области специализируется.

Строятся крупные промышленные и жилые объекты, воссоздаются или реставрируются здания и сооружения, представляющие историческое или культурное богатство нашей страны.

Большинство современных инженерных объектов характеризуются сложностью устройств и условий функционирования, высокими требованиями к

обеспечению точности определения положения деталей, узлов и механизмов; в тоже время существует множество и большое разнообразие постоянно развивающихся методов и средств их геодезического обеспечения. Задачи геодезического обеспечения чрезвычайно разнообразны как по точности, так и методическим особенностям.

Применение новых строительных технологий позволяет проводить строительные и реставрационные работы в короткие сроки и с хорошим качеством. Качество строительных работ (одним из параметров которого является соблюдения геометрических параметров строящегося здания и сооружения) напрямую зависит от точности их геодезического обеспечения. При этом требования к повышению точности и оперативности геодезических измерений непрерывно растут. В последние десятилетия в практику инженерно-геодезических работ интенсивно внедряются и современные средства измерений, такие как электронные тахеометры, лазерные сканеры и спутниковые методы.

Для компьютеризации процессов обработки информации в системах проектирования, планирования и управления, географических информационных системах требуется структурированное унифицированное представление информации об объектах окружающей среды, что позволяет улучшать существующие и создавать новые технологии. Разработка новых технологий для решения инженерно-геодезических задач и решение прикладных задач в отрасли на основе цифровых моделей местности подтверждается неоднократным включением выбранной проблематики в государственные и отраслевые планы. Все это позволяет проводить новые исследования в данной области, прежде всего, в поиске новых технологических возможностей с использованием вычислительной техники.

Геодезическое и картографическое производство в настоящее время основано на компьютерной технике. Однако некоторые малопроизводительные и нетворческие операции и сегодня еще не переданы компьютерной технике в большем объеме. Используемые методология и программные средства пока не

дали желаемого удешевления и ускорения в решении производственных задач. Стремление расширить сферы автоматизации в производстве, ввести автоматизацию в традиционно "ручные" творческие технологии определили актуальность исследования [11].

Разработка компьютерных систем принятия решений позволила в значительной степени сократить влияние человеческого фактора на объемы и качество выпускаемой продукции. В данной ситуации микропроцессорная техника сыграла роль интегрирующего звена между отдельными этапами и технологиями производственных процессов.

В частности, интеграция цифровой техники сбора данных, геодезических и фотограмметрических технологий привела к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности – систем наземной лазерной локации (наземных лазерных сканеров).

Использование наземного лазерного сканирования в производстве за счет высокой степени автоматизации и бесконтактного неразрушающего метода измерений дает возможность решения инженерно-геодезических задач на качественно новом уровне, а также значительного снижения влияния человеческого фактора на результаты измерений и повышения уровня безопасности при выполнении работ [12].

Исследование особенностей наземного лазерного сканирования позволит определить пригодность применения этого современного технического средства измерений для решения различных инженерно-геодезических задач и обосновать методики выполнения полевых и камеральных работ с учетом особенностей изученных инженерных объектов и их местоположения.

Целью магистерской диссертации является исследование возможностей и разработка рекомендаций по применению наземных лазерных сканеров для решения задач геодезического контроля.

Основные задачи исследования:

- анализ использования современных технологий при выполнении геодезических работ;
- исследование возможностей применения наземных лазерных сканеров при решении различных инженерно-геодезических задач;
- сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров с традиционными методами и приборами при решении инженерно-геодезических задач;
- разработка рекомендаций по применению наземных лазерных приборов.

Объектом исследования является наземная лазерная сканирующая система.

Предметом исследования являются особенности производимых лазерными сканерами измерительных параметров, технологические решения применения и методика выполнения задач геодезического контроля.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- на основе анализа выполненных исследований предложено о необходимости совершенствования существующих технологий для решения инженерно-геодезических задач;
- на основе выполненных исследований доказано, что современные лазерные сканеры в полной мере могут быть применены при выполнении инженерно-геодезических работ;

- выполнен сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров и обработки данных с традиционными методами и приборами при выполнении инженерно-геодезических работ;

- разработаны рекомендации по применению наземных лазерных сканеров.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

- проанализировано использование современных технологий при выполнении инженерно-геодезических работ;

- обоснованы преимущества и эффективности применения наземных лазерных сканеров для решения геодезических задач;

- выполнен сравнительный анализ;

- предложены рекомендации и предложения по применению наземных лазерных сканеров.

Апробация работы: Основные результаты исследования по теме магистерской диссертации докладывались на научно-практической конференции ТАСИ в 2014-2015гг.

Глава 1. Современное состояние геодезического обеспечения строительства и эксплуатация инженерных сооружений

1.1. Современное состояние и перспектива развития строительства и эксплуатации инженерных сооружений

Современный мир развивается большими темпами и Узбекистан, не отставая идет в ногу со временем. Политика социально-экономических реформ, проводимая в Узбекистане, позволила обеспечить реализацию проектов модернизации основных отраслей промышленности и инфраструктуры, провести масштабную реструктуризацию сельского хозяйства, обеспечить устойчивое развитие сферы услуг, высокие темпы экономического роста и повышение



Рис.1.1. Жилой комплекс «Молодежный», г.Ташкент, на массиве «Хумаюн» с объектами социально-культурного быта

благосостояния населения республики [3].

Принят закон «О градостроительстве», который гарантирует обеспечение населения городских и сельских населенных пунктов благоприятными условиями

проживания, недопущение вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, улучшение экологической обстановки, развитие инженерной, транспортной и социальной инфраструктур населенных пунктов и прилегающих к ним территорий, сохранение объектов культурного наследия градостроительными средствами (рис.1.1.).

В республике имеется чёткая процедура по порядку разработки, согласования и утверждения проектов жилищного строительства. Разработка генерального плана областного центра (города), рассчитанная на срок 20-25 лет с выделением первой очереди строительства на период 5-7 лет. Генеральные планы городов с численностью населения более 250 тысяч человек реализуются в два этапа, которые включают в себя разработку технико-экономических основ генерального

плана города и его пригородной зоны и проект генерального плана города. Генеральные планы городов учитывают преемственность исторического развития, региональные условия населенных пунктов (территория, численность населения, промышленность, жилая и общественная застройка, транспорт, улично-дорожная сеть, инженерные коммуникации, зеленые насаждения, планировочные ограничения, санитарно-защитные зоны и др.).

Устойчивое развитие инженерно-коммунальной инфраструктуры в Узбекистане является одной из приоритетных направлений реализуемой экономической программы. Это обусловлено необходимостью модернизации и обновления основных фондов объектов инфраструктуры на новой высокотехнологичной основе, повышения качества оказываемых услуг.

В республике в целях формирования и расширения доступа населения к услугам объектов коммунальной инфраструктуры разработаны соответствующие законодательно-правовые акты и целевые государственные программы.

Достигнуты позитивные результаты в обеспечении через объекты коммунальной инфраструктуры населения питьевой водой, природным газом, горячей водой и тепловой энергией, канализацией.

1.1.1. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в систему Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру

В целях реализации Закона Республики Узбекистан «Об информатизации» в системе Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру (далее - Госкомземгеодезкадастр) ведется определенная работа, направленная на обеспечение широкого использования современных информационно-коммуникационных технологий (далее – ИКТ), создание информационных систем автоматизации деятельности, расширение перечня и улучшение качества интерактивных государственных услуг, обеспечение широкого доступа к соответствующим информационным ресурсам, защите информационных систем и ресурсов, подготовку и

переподготовку руководителей и сотрудников Комитета для обеспечения наличия базовых навыков в сфере ИКТ.

В системе Госкомземгеодезкадастра создано Государственное унитарное предприятие «Центр внедрения и развития компьютеризации и геоинформационных технологий», на которое возложены функции по внедрению и развитию современных ИКТ, формированию ведомственных информационных ресурсов и баз данных, организации межведомственного обмена информацией, оказанию интерактивных услуг, формированию и развитию Интернет-сайта и др.

В настоящее время в Госкомземгеодезкадастр внедрена система UzbekLandRegister, которая автоматизирует деятельность региональных регистрационных подразделений и центрального информационного офиса и предназначена для поддержки процесса регистрации прав на земельные участки и недвижимость, ведения баз данных и архивов, автоматизации документооборота и формирования отчетов.

Ведется определенная работа по обеспечению доступа юридических и физических лиц к информационным ресурсам Госкомземгеодезкадастра. В частности, запущен официальный веб-сайт Комитета www.ygk.uz., сайт зарегистрирован в доменной зоне «.UZ», размещен на сервере, расположенном на территории Узбекистана, справочная информация имеется на портале GOV.UZ.

Информационные услуги Госкомземгеодезкадастр предоставляет как на платной, так и на бесплатной основах. Бесплатными услугами комитета являются доступ к информационным ресурсам и услугам, предоставленных на официальном веб-сайте Госкомземгеодезкадастра www.ygk.uz.

В соответствии с требованиями законодательства в сфере информатизации, за Госкомземгеодезкадастром закреплено оказание 5 видов интерактивных государственных услуг. В частности, предоставление информации по земельным ресурсам; предоставление информации о государственной регистрации прав на недвижимое имущество; предоставление информации о порядке и составе представляемых документов для государственной регистрации прав на земельные участки; предоставление информации о порядке и составе предоставляемых

документов для государственной регистрации прав на здания и сооружения; предоставление информации о природно-географических условиях и историко-культурном наследии Республики Узбекистан.

В целях оказания кадастровых и регистрационных услуг по принципу «Одно окно» разработана и запущена пилотная версия интерактивных услуг системы регистрации «одно окно» на сайте <http://odnookno.uz/>. В созданных подразделениях «одно окно» любое юридическое и физическое лицо может получить информацию, содержащую о нем, из информационных ресурсов управления.

В соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 27.06.2013г. №ПП-1989 «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан» предусматривается создание информационной системы кадастра и регистрация недвижимости с учетом стандартизации механизмов сбора и обработка данных. А также создание Национальной географической информационной системы Республики Узбекистан со сроками реализации проектов 2013-2017гг.

В целях обеспечения опережающего развития отраслей производственной, транспортной и инженерно-коммуникационной инфраструктуры в тесной увязке с реализуемыми программами перспективного развития отраслей экономики и территорий республики и на этой основе обеспечения создания новых рабочих мест, повышения занятости и неуклонного роста уровня жизни населения.

Основными приоритетами развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011 — 2015 годах:

- 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;
- ускорение реализации проектов по созданию единой национальной автомобильной транспортной системы, надежно соединяющей все регионы

республики, расширение строительства и реконструкции участков четырехполосных дорог, входящих в состав Узбекской национальной магистрали, с обеспечением их современным цементобетонным и асфальтобетонным покрытием, отвечающим высоким требованиям международных стандартов, проведение реконструкции автодороги через перевал Камчик;

- ускоренное развитие и модернизацию железнодорожного транспорта республики, проведение реконструкции железнодорожных путей, осуществление электрификации железнодорожных участков до городов Бухара и Карши, обновление подвижного состава современными высокопроизводительными локомотивами, грузовыми и пассажирскими вагонами;

- дальнейшее развитие и укрепление материально-технической базы авиационных перевозок за счет кардинального обновления парка воздушных судов современными комфортабельными и экономичными самолетами ведущих авиакомпаний мира Airbus и Boeing, организации их сервисного обслуживания, в г. Ташкенте и областных центрах республики и на этой основе увеличение объемов грузовых перевозок, включая транзитные, повышение уровня и качества, главное — обеспечение безопасности пассажирских авиационных перевозок;

- модернизация и ускоренное развитие современных телекоммуникационных сетей и сооружений, расширение сети сотовой связи и широкополосной передачи данных, поэтапный переход в регионах республики на цифровое телевидение;

- дальнейшее 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 различными видами транспорта — автомобильным, железнодорожным и авиационным, укрепление материально-технической базы и повышение эффективности функционирования интермодальных центров логистики в г. Ангрен и на базе аэропорта г. Навои;

- 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;
- осуществление строительства и реконструкции объектов придорожной инфраструктуры и сервиса вдоль национальной автомагистрали и железнодорожных путей, создание для участников движения по автомобильным и железнодорожным магистралям условий, отвечающих международным стандартам, формирование на этой основе новых рабочих мест и увеличение занятости населения;
- обеспечение своевременной закупки дополнительной современной дорожно-строительной техники для реконструкции и развития Узбекской национальной автомагистрали, внедрение в дорожном строительстве современных строительных технологий, оборудования и качественных материалов;
- расширение строительства, модернизации и реконструкции в регионах республики, особенно в сельской местности, инженерно-коммуникационных сетей — систем водоснабжения, канализации, электрификации и другие, повышение на этой основе уровня и качества обеспечения населения и хозяйствующих субъектов водой и электроэнергией, улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки в городах и населенных пунктах;
- 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 [3].

1.2. Роль, задачи и содержание геодезического обеспечения строительства

Геодезия в строительстве играет важнейшую роль. На сегодняшний день без геодезического сопровождения не обходится ни одно строительство, начиная с небольшого частного дома и заканчивая многофункциональными торгово-офисными комплексами с обширной инфраструктурой. От наличия высококвалифицированных геодезистов на строительной площадке во многом зависит качество и надежность построенных конструкций [23].

Геодезическое сопровождение строительства - это комплекс измерений, вычислений и построений в чертежах и натуре, обеспечивающих правильное и точное размещение зданий и сооружений, а также возведение их конструктивных и планировочных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов. Геодезические работы являются составной частью процесса строительного проектирования и производства, а их содержание и технологическая последовательность определяется этапами и технологией основного производства. Бригада геодезистов обязательно комплектуется геодезическим оборудованием – электронными тахеометрами, лазерными или оптическими нивелирами, 3D сканерами, ноутбуками со специализированным программным обеспечением и пр. При решении сложных геодезических задач используются специальные приборы: приемники GPS/ГЛОНАСС, приборы вертикального проектирования, построители плоскостей и пр.

Изыскания для строительства включают в себя целый комплекс разнообразных геодезических и иных работ. Очень часто при выполнении геодезических изысканий все виды работ обозначают одним термином — инженерная геодезия. Однако здесь нужно понимать, что топографическая съемка в частности, имеет принципиально важное отличие от строительных геодезических работ высокой точности. Геодезическое сопровождение должно осуществляться непрерывно, когда специалисты постоянно находятся на объекте строительства и выполняют контрольные замеры и их анализ. Такое решение

выгодно при больших объёмах строительных работ. В случае необходимости, на небольших объектах может выполняться локальный геодезический контроль. Не рекомендуется выполнять геодезический контроль только на финальной стадии строительства, когда объект уже практически введен в эксплуатацию. Контроль должен быть поэтапным, для своевременного принятия решения о ликвидации существенных отклонений или изменения проекта. Комплекс инженерно-геодезических изысканий при сопровождении строительства металлических, монолитных и панельных зданий и сооружений, промышленных площадок, аэродромов и трасс линейных объектов (железных и автомобильных дорог, ЛЭП, магистральных трубопроводов и иных инженерных коммуникаций) включает в себя многие действия.

1.2.1. Этапы геодезических работ при сопровождении строительства

- Сбор, анализ и детальное изучение проекта строительства, поиск возможных ошибок.
- Создание и последующее развитие опорной геодезической сети объекта строительства, в т.ч. создание на контролируемой территории некоторой временной геодезической сети, для которой координаты пунктов вычислены только по результатам геодезических построений.
- Вынос в натуру главных осей объекта строительства с закреплением их на местности.
- Вынос в натуру второстепенных конструктивных элементов объекта, в т.ч. трасс подземных коммуникаций.
- Вынос в натуру высотных реперов.
- Контроль и приёмка исполнительной документации субподрядных организаций.
- Исполнительная съёмка построенных элементов и составление исполнительных чертежей, в т.ч. исполнительных чертежей планового и высотного положения конструкций во время строительства.

- Геодезический контроль за соблюдением геометрических параметров строительных конструкций, в т.ч. при монтаже оборудования, выверке подкрановых путей и проверке вертикальности колонн, сооружений и их элементов, нивелировании поверхности и при опалубочных работах.

- На заключительном этапе строительства осуществляется подготовка комплекта исполнительной геодезической документации к сдаче, содержащей: исполнительный генеральный плана и схемы по компонентам конструкций и элементам строений, исполнительные чертежи и аксонометрия по надземным и подземным коммуникациям, специальные исполнительные инженерные планы, профили и разрезы и картограммы.

- Сравнение полученных результатов с проектными координатами (отметками) и координатами одноимённых точек, характеризующих предыдущий контролируемый горизонт (в случае сопровождения строительства многоэтажного здания).

- Наблюдение за деформациями зданий и сооружений, их оснований, контроль перемещений грунта.

- Составление и сдача технического отчёта о результатах, выполненных в процессе строительства, геодезических работ.

- Сопровождение выемки котлованов (насыпи грунта), с последующим подсчётом объёмов земляных масс, составление картограммы, а так же расчёт объёмов строительных работ.

1.3. Анализ использования современных технологий при выполнении инженерно-геодезических работ

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, трехмерного наземного сканирования и цифрового нивелирования.

В настоящее время идет процесс совершенствования технологий производства приборов, расширения их функциональных возможностей, улучшения технических характеристик.

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.

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;
- съемка 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 съемку 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 определенных условиях сигнал может не доходить до приемника, или приходить 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 приема сигнала от спутников может серьезно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности. Нормальному приему сигналов GPS могут повредить помехи от многих наземных радиоисточников, 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.

1.3.2. Технология электронной тахеометрии

К высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений, дальнейшего их использованию на ЭВМ для обработки [11].

На замыкающей стадии развития оптико-электронных геодезических приборов стоит универсальный инструмент - электронный тахеометр, неслучайно занимающий прочное место в ряду приборов геодезического оборудования. Тахеометр производит любые угломерные измерения одновременно с измерением расстояний и по полученным данным проводит инженерные вычисления, сохраняя всю полученную информацию. С помощью электронного тахеометра в полевых условиях можно получить информацию об измеряемых горизонтальных и вертикальных углах и расстояниях, автоматически выполнить необходимые вычисления по плановому и высотному положению ситуации. При наличии компьютера процесс может быть автоматизирован, включая получение готовой карты местности за считанные минуты. Возможность занесения в запоминающее устройство допустимых погрешностей измерений (например, циклической погрешности дальномера, коллимационной погрешности, отклонения места нуля, отклонение оси вращения от отвесной линии за счет введения двухкоординатных электронных уровней и др.) позволяет повысить точность и производительность измерений. Встроенное программное обеспечение позволяет выполнить следующие геодезические задачи: обратную засечку, уравнивание теодолитного хода, вычисление площадей, разбивку кривых и т.д (рис.1.2.).

Выпускаемые в настоящее время электронные тахеометры можно условно поделить на три группы – простейшие, универсальные и роботизированные. Если ранее в основе классификации геодезических приборов лежала точность

измерений, то сегодня основой классификации в основном является степень автоматизации и компьютеризации (рис.1.3).

Во многих моделях тахеометров имеется возможность выполнения измерений без отражателя.

На нашем рынке тахеометры представляют сегодня такие известные фирмы, как Leica-Geosystems(Швейцария), Sokkia, Topcon, Nikon и Pentax (Япония), Trimble Navigation (США), Opton (Германия), АГА (Швеция), а также ФГУП "УОМЗ" (Россия, г. Екатеринбург) и др.

Современный тахеометр должен полностью удовлетворять всем требованиям пользователя. Это важно и потому, что пользователь не должен переплачивать за не востребуемые функции и возможности инструмента, стоимость которых может быть достаточно высока. С другой стороны, желательно иметь возможности обновления и модернизации системы — добавление новых функций, программ и даже изменение технических характеристик.



Рис.1.2. Тахеометрическая съемка медресе Шердор



Рис.1.3. Тахеометр Trimble S6 Robotic, тахеометр Sokkia SET 650RX-F с лазерным центриром

Электронным тахеометром называется устройство, объединяющее в себе теодолит и светодальномер. Одним из основных узлов современных электронных тахеометров является микроЭВМ, с помощью которой можно автоматизировать процесс измерений и решать различные геодезические задачи по заложенным в них программам. Увеличение числа программ расширяет диапазон работы тахеометра и область его применения, а так же повышает точность работ. Наличие регистрирующих устройств в тахеометрах позволяет создать автоматизированный геодезический комплекс: тахеометр – регистратор информации – преобразователь – ЭВМ – графопостроитель, обеспечивающий получение на выходе конечной продукции – топографического плана в автоматическом режиме. При этом сводятся к минимуму ошибки наблюдателя, оператора, вычислителя и картографа, возникающие на каждом этапе работ при составлении плана традиционным способом.

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 1.1., дающей сравнительную характеристику этих двух видов технологий.

Сравнительный анализ традиционной и электронной технологий выполнения
топографических съемок

Технические показатели	Традиционная технология	Электронная технология
m	30	до 0,5
mS	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 кольшками	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

1.3.3. Технология трехмерного наземного лазерного сканирования

Наземное лазерное сканирование – современный метод сбора и регистрации пространственных данных. В отличие от традиционных методов съемки (с использованием тахеометра или спутникового приемника), где исполнитель вынужден выбирать характерные точки объекта, для последующего его отображения, при сканировании объекта происходит автоматическая регистрация координат точек на его поверхности, с заданным шагом. 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. Причем, скорость сканирования может достигать более 1 000 000 точек в секунду, а плотность получаемого «облака точек» сотни и тысячи точек, на 1 кв. метр. Точность определения координат точек, в зависимости от модели сканера и расстояния варьируется от нескольких миллиметров до единиц сантиметров [11].

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, Micro Station и другие.

Наземное лазерное сканирование применяется для решения широкого круга задач, от создания обмерных чертежей и 3Д моделей до выполнения классической топографической съемки сложных промышленных объектов.

В зависимости от деталей конкретного проекта, наземное сканирование может выполняться, как самостоятельный вид работ, а так же в комбинациях с другими видами съемки: тахеометрической, мобильным и воздушным лазерным сканированием.

Технология наземного лазерного сканирования существует уже более 10 лет и постоянно развивается. Специалисты отрасли за эти годы научились применять полученные с помощью сканера данные для решения широкого спектра задач. Благодаря постоянному развитию появляются все новые методики съемки и способы представления данных, способные удовлетворить растущие потребности рынка.

1.3.4. Технология цифрового нивелирования

Цифровые нивелиры достаточно широко применяются, прежде всего, при наблюдении за осадкой зданий и сооружений, при строительстве сложных в инженерном отношении объектов.

В качестве приемного устройства в них использована ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью), устанавливаемая в плоскости изображений, создаваемых зрительной трубой цифрового нивелира. В качестве примера на рис.1.4. представлена оптическая схема цифрового нивелира DINI, а на рис.1.5. — внешний вид этого прибора [11], [24].

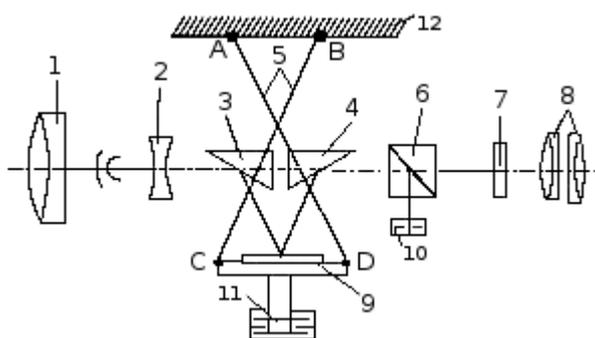


Рис.1.4. Оптическая схема цифрового нивелира DINI:

1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3, 4 — призмы; 5 — нити; 6 — куб-призма; 7 — сетка нитей; 8 — окуляр; 9 — зеркало-компенсатор; 10 — сенсорный приемник излучения; 11 — воздушный демпфер; 12 — корпус трубы; А, В, С, D — точки закрепления нитей



Рис.1.5. Внешний вид цифрового нивелира DINI

С помощью ПЗС-матрицы 10 распознается кодовая маска на нивелирной рейке, изображение которой получают с помощью объектива 1 в плоскости сетки

нитей 7 и в плоскости чувствительной поверхности ПЗС-матрицы. В отличие от традиционных оптических нивелиров, при работе с цифровым нивелиром отсчет производится автоматически и вносится в память прибора.

С помощью цифрового нивелира можно автоматически осуществлять отсчеты по нивелирной рейке, определять расстояния до рейки и вычислять превышения между нивелируемыми точками. Внутренняя память рассчитана на хранение измерений 8000 точек. Данные нивелирных ходов могут быть уравнены по методу наименьших квадратов программным обеспечением. Уникальные возможности цифровых нивелиров обеспечивают возможность увеличить производительность на 50% по сравнению с традиционными оптико-механическими приборами, а также достигнуть наивысшего уровня точности измерений, что позволяет их использовать для выполнения нивелирных работ всех классов и слежения за деформациями.

Все цифровые нивелиры являются самоустанавливающимися и высокоточными, поэтому для нивелирования обычно используются инварные рейки, для менее точных работ фиберглассовые, имеющие несколько больший температурный коэффициент расширения, и поэтому менее точные. На эти рейки наносится кодовая маска, по которой автоматически считываются отсчеты в процессе нивелирования. Все фирмы выпускают рейки к кодовым нивелирам, которые не могут быть использованы для визуального отсчета.

Как правило, цифровые нивелиры используются при выполнении высокоточных геодезических работ. Особенно эффективно их использование при измерении деформаций сооружений и исследовании движений земной коры, вызванных как естественными причинами, так и техногенными факторами.

Современные цифровые нивелиры позволяют значительно повысить производительность при выполнении нивелирования, однако диапазон измеряемых превышений и скорость выполнения работ во многом диктуются используемым методом измерений, т. е. геометрическим нивелированием.

Поэтому интерес исследователей всегда вызывал метод тригонометрического нивелирования, позволяющий определять превышения между точками,

удаленными на значительные расстояния. При этом ограничения по дальности обусловлены в первую очередь снижением точности из-за влияния внешних условий (вертикальной рефракции).

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 жилищного строительства 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 наземных лазерных сканеров с целью определения возможного применения их для решения инженерно-геодезических задач

2.1. Теоретические основы технологии наземного лазерного сканирования

Современные темпы строительства и эксплуатации инженерных сооружений, а также внедряемые новые методы трехмерного проектирования требуют внедрения новейших технологий и методик выполнения инженерно-геодезических работ, отвечающих концепции определения достоверной и оперативной трехмерной геометрической информации.

В частности, интеграция цифровой техники сбора данных, геодезических и фотограмметрических технологий привела к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности – систем наземной лазерной локации (наземных лазерных сканеров).

Наземный лазерный сканер (НЛС)— это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью (от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду) расстояния от сканера до поверхности объекта и регистрирующая соответствующие направления (вертикальные и горизонтальные углы) с последующим формированием трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек [12].

2.1.1. Принцип действия и обработка результатов наземных лазерных сканеров

Система наземного лазерного сканирования состоит из НЛС и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. НЛС состоит из лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой, и блока развертки лазерного луча. В качестве блока развёртки в НЛС выступают 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. Развёртка в вертикальной плоскости осуществляется за счёт вращения или качания зеркала (рис.2.1.).

В процессе сканирования фиксируется направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. Результатом работы НЛС является растровое изображение – скан (рис.2.2.), значения пикселей которого представляют собой элементы вектора со следующими компонентами: измеренным расстоянием, интенсивностью отражённого сигнала и RGB-составляющей, характеризующей реальный цвет точки. Для большинства моделей НЛС характеристики реального цвета для каждой точки получается с помощью неметрической цифровой камеры [21].

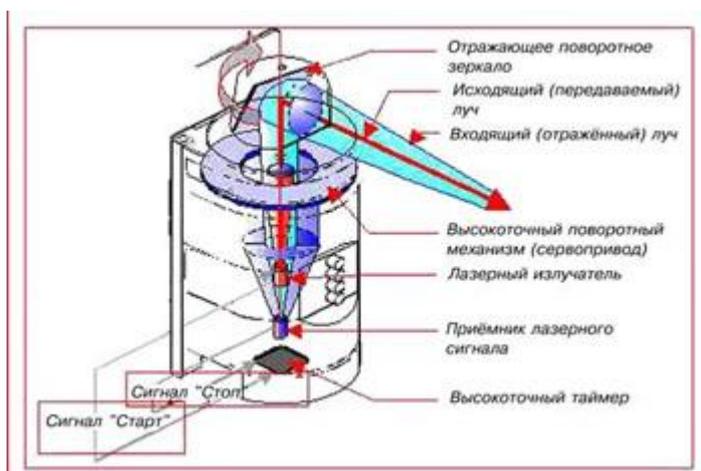


Рис.2.1. Состав и принципиальная схема наземной сканирующей системы

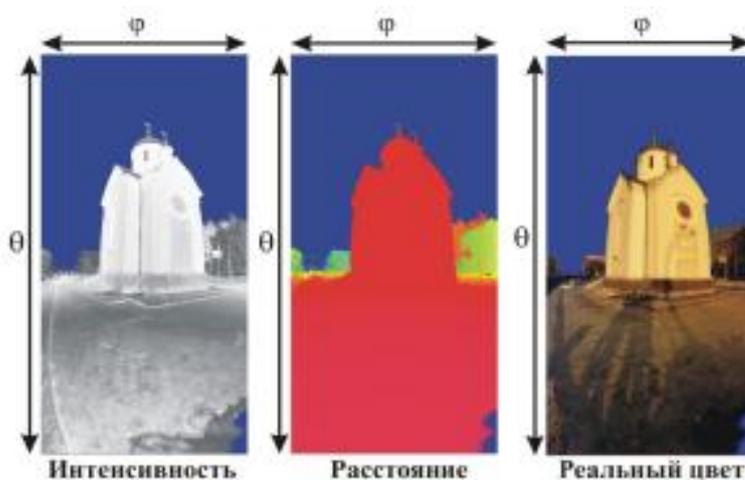


Рис.2.2. Результат лазерного сканирования-растровое изображение

Другой формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив точек (рис.2.3.) 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 НЛС (рис.2.4.) вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} X &= R \cos \varphi \sin \theta \\ Y &= R \sin \varphi \sin \theta \\ Z &= R \cos \theta \end{aligned} \quad (1.1.)$$

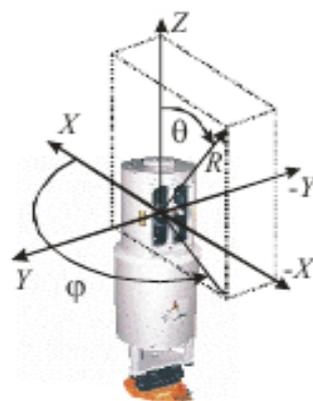
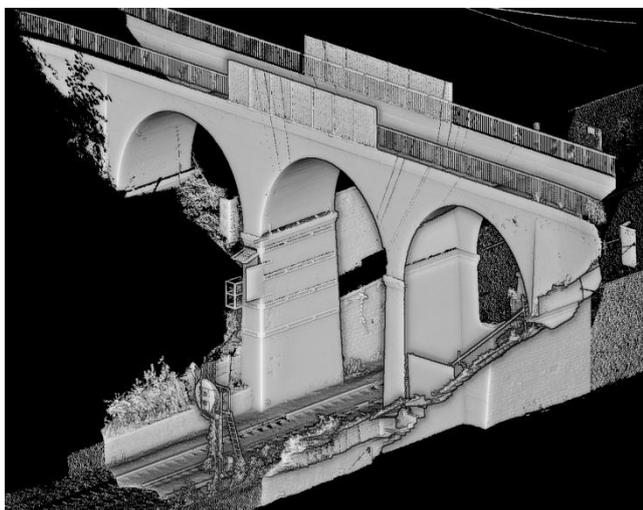


Рис. 4. Система координат НЛС

Рис.2.3. Результат наземной лазерной съемки – массив точек

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

φ – горизонтальный угол измеренного направления лазерного луча R ;

θ – вертикальный угол направления R , отсчитываемый от оси Z до вектора R (зенитное расстояние направления лазерного луча).

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.

Все данные измерений автоматически записываются на внешний или внутренний носитель памяти.

После того, как произведены измерения, начинается процесс обработки. Изначально, сырые измерения представляют собой «облако» точек, которые необходимо представить в виде чертежей, схем в САД формате. Весь процесс обработки состоит из нескольких основных этапов:

«Сшивка» сканов. Во время съемки объекта, для полного покрытия поверхности, требуется провести несколько сканов. Для создания единого скана производят процедуру объединения. Самым распространенным методом «сшивки» является метод совмещения сканов по опорным точкам, которые отображаются на смежных сканах [26].

Трансформация координат. Для точного представления будущего чертежа или схемы необходимо задание определенной единой системы координат. Начало системы координат каждого отдельного скана, производимого с определенной точки, находится в центре измерительной головки сканера. Для связи координат объекта, полученных из разных сканов, необходимо выбрать единую систему координат, определить в ней центр сканирования для каждого случая и трансформировать все полученные координаты в единую систему [26].

Создание поверхностей. На данном этапе необходимо представить “облака” точек математически описываемыми поверхностями. С помощью прикладного ПО можно либо создать TIN-поверхность – аппроксимировать поверхность триангуляционным методом, либо аппроксимировать поверхность с помощью простейших правильных математических поверхностей (плоскость, сфера, цилиндр и пр.). Созданные подобным образом поверхности, могут быть экспортированы в любые САД и 3D-приложения. Если сканирование сопровождается цифровой видео - или фотосъемкой, то на этапе обработки можно совместить сканированное изображение объекта с его видео изображением, придав скану реальные цвета и текстуру (рис.2.5.) [26].

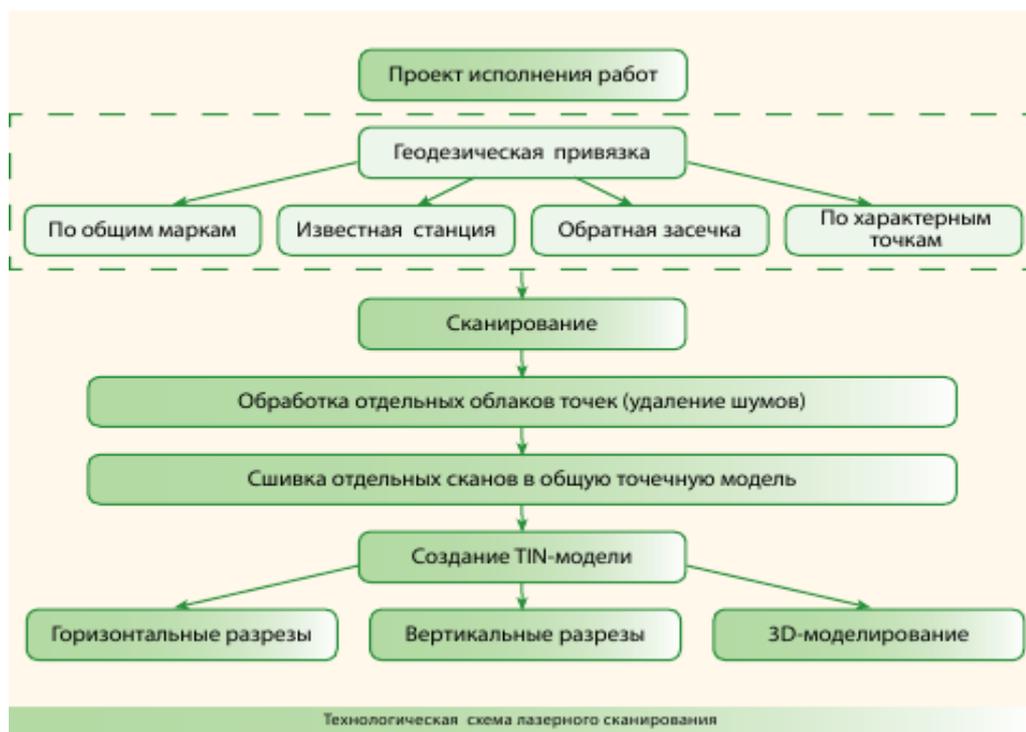


Рис.2.5. Технологическая схема лазерного сканирования

2.1.2. Программное обеспечение лазерных сканеров

Программные продукты, применяемые в технологии лазерного сканирования, в зависимости от их функционального назначения можно разделить на следующие группы [27]:

- **управляющее ПО:**

задание разрешения сканирования, сектора сканирования путём визуального выбора объектов, режима сканирования, режима работы цифровой камеры;
 визуализация сканов в режиме реального времени;
 контроль получаемых результатов;
 калибровка и тестирование сканера; выявление возможных неисправностей;
 учёт ошибок, связанных с влиянием внешних условий окружающей среды;
 объединение сканов;
 внешнее ориентирование сканов;
 экспорт результатов сканирования.

- **ПО для создания единой точечной модели:**

объединение сканов;

внешнее ориентирование сканов;
сегментирование и разрежение точечной модели;
визуализация точечной модели;
экспорт и печать.

- **ПО для построения трёхмерных моделей и двумерных чертежей по данным сканирования:**

создание из массива точек нерегулярной триангуляционной сети (TIN) и NURBS-поверхности;

создание модели отсканированного объекта с помощью геометрических примитивов;

профилирование;

построение чертежей;

проведение измерений (длин, диаметров, площадей и объёмов объектов);

визуализация построенной модели (построение изолиний, текстурирование);

сравнение построенной модели с проектной;

экспорт и вывод на печать результатов обработки данных НЛС.

- **комплексное ПО:**

все функции управляющего ПО;

создание точечной модели;

построение трёхмерных моделей и двумерных чертежей по данным наземного лазерного сканирования.

Программное обеспечение для обработки данных (облака точек).

Составляющей системы трехмерного лазерного сканирования уделяют незаслуженно мало внимания, хотя обработка данных, получение конечного результата работы - это не менее важные этапы проекта, чем полевые работы. Например: Спектр программного обеспечения Leica HDS – действительно самый широкий на рынке лазерного сканирования. Главный элемент спектра – это, конечно, комплекс **Cyclone**. Эта модульная программная система по праву считается самой популярной в мире и обладает большим пакетом инструментов для обработки данных, получаемых с помощью сканера. Есть у Leica и ряд более

узкоспециализированных программ. Для тех, кто привык работать в традиционных САПР, существует серия программных продуктов LeicaCloudWorx, встраиваемых в AutoCAD, MicroStation, AVEVA и SmartPlant, что позволяет пользователям данных программ работать непосредственно с облаками точек. 3DReshaper (рис.2.6. а, б) строит высококачественные триангуляционные модели поверхностей объектов и позволяет проводить мониторинг деформаций путем сравнения съемок объекта, сделанных в разные периоды времени. В линейке программ Leica HDS есть даже ПО для обработки данных сканирования в криминалистике.

Hexagon Metrology имеет возможности поставки совершенного программного обеспечения для решения любой измерительной задачи [28].



Рис.2.6.а. 3D Reshaper способен импортировать облака точек независимо от их размера и происхождения (воздушное, мобильное, наземное лазерное и др. виды сканирования)

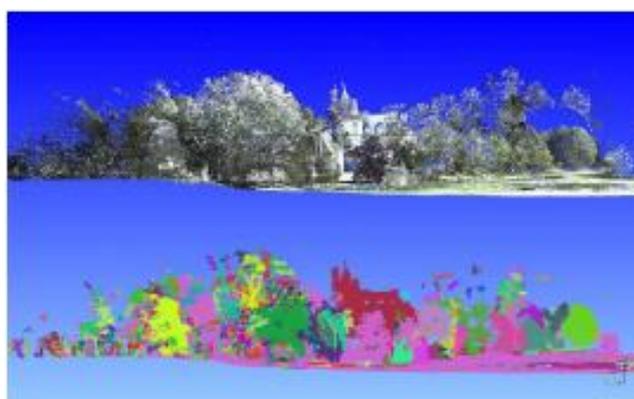


Рис.2.6.б. Очистка и фильтрация. Устранение ненужных шумов и избыточных данных

2.2. Развитие технологии и разнообразие видов лазерных сканеров

Бурное развитие технологии трехмерного лазерного сканирования, как воздушного так и наземного, ведет к появлению на рынке все новых производителей сканеров и программного обеспечения для обработки данных сканирования.

В настоящее время компании-производители лазерных сканеров предлагают довольно широкий выбор разнообразных моделей, каждая из которых уникальна по своим техническим характеристикам.

Наземные 3D сканеры предназначены для выполнения съемки различных объектов на земной поверхности. Во время съемки лазерный сканер, в большинстве случаев, неподвижен, и может быть установлен на исходный геодезический пункт с известными координатами. Области применения наземных сканеров весьма разнообразны: проектирование сложных производств, архитектура, машиностроение, топография, киноиндустрия, строительство и многие другие. Объектами съемки могут являться, например, многоэтажный дом, угольный карьер, домна металлургического завода, шахта метрополитена, архитектурный памятник, кузов легкового автомобиля, скульптура и даже человек [25].

Мобильные и воздушные сканирующие системы, которые используют сканеры, закреплённые на движущемся транспортном средстве во время процесса измерения, получают дополнительные данные по ходу, для компенсации движения. Глобальная Спутниковая Навигационная Система (GNSS) определяет местоположение и скорость сканера, а инерциальное измерительное устройство (IMU) определяет колебания высоты и ускорение сканера. Эта информация хранится и обрабатывается во время процесса сбора данных, а затем обрабатывающее программное обеспечение производит файл облака точек со скорректированным физическим расположением, позволяя команде работающей над проектом очень быстро извлекать данные физического окружения без того что бы устанавливать оборудование несколько раз. Дополнительные данные, такие как, условия окружающей среды во время получения данных, а так же

калибровка и данные поставщика услуг, могут быть прикреплены к набору данных. Мобильное и воздушное сканирование быстро становится стандартным методом создания цифровых моделей городов, документирования сети дорог, туннелей или линий электропередач и других крупномасштабных отраслевых измерений [13].

2.2.1. Классификация лазерных сканеров по принципам измерения

По своим характеристикам и назначению наземные лазерные сканеры сильно различаются между собой. Прежде всего, в принципе не существует совершенно универсального сканера, который мог бы использоваться для решения всех задач. Так, одни сканеры лучше использовать для съемок объектов средних размеров (на расстояниях до 100м), другие - для съемок крупных объектов (на расстояниях 200м и более), третьи же предназначены для съемки небольших объектов в пределах всего лишь нескольких метров. Определенный тип лазерных сканеров может применяться для решения определенного круга задач. Воспользуюсь наиболее распространенной классификацией, в которой наземные лазерные сканеры подразделяются по принципу определения пространственных координат на импульсные, фазовые и триангуляционные. В таблице 2.1. приведен сравнительный анализ по классификации лазерных сканеров.

В импульсных 3D сканерах реализован метод определения расстояний, основанный на точном определении времени прохождения импульса до цели и обратно. Поскольку данный метод для непосредственного измерения расстояния использует световой импульс, основное преимущество импульсных сканеров заключается в дальности выполняемых измерений (до нескольких сотен метров), которая обеспечивается достаточно высокой мощностью лазера. Но следует обязательно помнить, что излучение таких лазеров может быть вредным для глаз. Помимо измеренного расстояния, для определения пространственного положения точки фиксируются значения горизонтального и вертикального углов поворота лазерной головки. Точность измерений импульсными сканерами может достигать нескольких миллиметров, но с увеличением расстояния до объекта она снижается.

Фазовые лазерные 3D сканеры имеют дальность действия в пределах ста метров. В сканерах этого типа реализован метод определения расстояний, основанный на измерении сдвига фаз излучаемого и принимаемого сигнала. Так как данный метод использует модулированный световой сигнал, то для определения расстояния не требуется слишком большой мощности лазера, и поэтому расстояния могут быть измерены с точностью до первых миллиметров, однако дальность действия сканеров этого типа весьма ограничена. Пространственное положение точек определяется точно так же, как и у импульсных сканеров. Фазовые сканеры используют безопасный для глаз лазер и поражают скоростью измерений, которая превосходит скорость импульсных сканеров в десятки, а порой и в сотни раз.

Триангуляционный метод реализуется в высокоточных сканерах. Особенность устройства таких сканирующих систем состоит в том, что излучатель и приемник сигнала разнесены в них на известное расстояние (базис). Определение пространственного положения точки объекта сводится, таким образом, к решению обычного треугольника, в котором известна длина одной из сторон и два прилегающих к ней угла. Триангуляционные лазерные 3D сканеры позволяют выполнять измерения с высочайшей точностью до десятых и даже сотых долей миллиметра, но на очень небольшой дистанции (не превышающей нескольких метров). Подобные сканеры применяются, как правило, для точной съемки в машиностроении, реставрации, архитектуре, медицине, различных медиа-приложениях [25].

Таблица 2.1.

Принцип измерения	Максимальное измеряемое расстояние, м	Точность определения расстояния, мм	Фирмы-производители лазерных сканеров данного типа
Импульсный метод определения расстояния	50-300 до 1000	до 10 до 20	Callidus, Leica, Trimble, Optech, RieglOptech, Riegl
Фазовый метод определения расстояния	до 100	до 10	IQSun, Leica, Vislimage, Z+F
Метод оптической триангуляции	до 5	до 1	Trimble, Minolta

2.2.2. Технические характеристики наземных лазерных сканеров

В настоящее время разработкой приборов для трёхмерного лазерного сканирования занимается множество фирм, все эти фирмы выпускают сканеры для различных целей. Задачи, решаемые конкретной моделью НЛС, определяются его техническими характеристиками. Основными характеристиками современных наземных лазерных сканеров являются [27]:

1. точность измерения расстояния, горизонтального и вертикального углов;
2. максимальное разрешение сканирования;
3. скорость сканирования;
4. дальность действия лазерного сканера;
5. расходимость лазерного луча;
6. поле зрения сканера;
7. используемые средства получения информации о реальном цвете;
8. класс безопасности используемого лазера;
9. портативность и особенности интерфейса.

2.2.3. Обзор и классификация моделей наземных лазерных сканеров

В настоящее время разработкой приборов для трехмерного лазерного сканирования занимается множество фирм: широко известные Trimble (США) и LeicaGeosystems (Швейцария), а также Riegl (Австрия), и другие. Все эти фирмы выпускают сканеры для различных целей. Задачи, решаемые конкретной моделью НЛС, определяются его техническими характеристиками.



Рис.2.7. Trimble TX5

Фирма Trimble выпускает сканер под названием **Trimble TX5** (рис.2.7.). Лазерный наземный сканер “Trimble TX5” [29] – это универсальное решение для осуществления трёхмерного сканирования для задач самого разного профиля. Его лёгкая и компактная конструкция обеспечивает ему высокую портативность и

мобильность на месте проведения работ, что повышает его продуктивность при работе в полевых условиях.

Высокоскоростной трёхмерный лазерный сканер “Trimble TX5” способен проводить сканирование со скоростью до 976 000 точек в секунду и на расстоянии до 120 м, мин. измеряемое расстояние 0,6 м, точность измерения 2 мм, поле зрения 300° x 360°, класс лазера 3R, фазовый, диапазон температур от +5°С до +40°С. Система также снабжена встроенной цветной камерой с автоматическим 70-мегапиксельным беспараллаксным цветным оверлеем. Она позволяет получать по данным миллионов измерений детальные фотореалистичные трёхмерные цветные изображения. Это предоставляет пользователям великолепное решение для документирования существующих условий для цифрового моделирования изображений (BIM), архитектурных решений, выявления и измерения структурных деформаций, создания моделей промышленных предприятий и памятников истории и архитектуры, для использования в криминалистике и расследовании происшествий – везде, где требуются детальные цветные изображения.

Размеры “Trimble TX5” составляют всего 240 мм x 200 мм x 100 мм, а его масса всего 5,0 кг, то его можно легко переносить с места на место и устанавливать в труднодоступных местах. Маленький и лёгкий футляр для транспортировки сканера предоставляет пользователям удобное, безопасное и экономичное решение для его транспортировки. Сканер также поставляется в комплекте с литий-ионной батареей, от которой он может работать до 5 часов, и которую можно заряжать прямо во время работы. Для пользователей также доступна возможность управления сканером через WLAN для его дистанционного включения и выключения и для просмотра и скачивания данных сканирования.

Эксплуатация сканера “Trimble TX5” Очень проста благодаря наличию у него пользовательского интерфейса на основе сенсорного дисплея с набором простых и понятных меню.

Сканер “Trimble TX5” снабжен автоматическими сенсорами, помогающими проводить сканирование и позволяющими использовать его при минимальном числе целей в поле зрения сканера. Система снабжена электронным компасом, снабжающим получаемые сканы данными о направлениях, и двухосевым компенсатором, позволяющим задавать для всех сканов встроенные данные об уровне. Встроенный альтиметр (сенсор для определения высоты расположения сканера) позволяет получать информацию о высоте его расположении, что позволяет проводить дифференциальное сканирование, например, в многоэтажных зданиях.

Данные, полученные сканером “Trimble TX5”, сохраняются на флэш-карте формата SD, что позволяет быстро и легко переносить их в компьютер. Эти данные обрабатываются и регистрируются с помощью программы SCENE и могут быть легко импортированы в программу TrimbleRealWorks для получения конечных данных, например, трёхмерных моделей, результатов инспекции или результатов измерений. Полученные данные также могут легко импортироваться в программы для трёхмерного компьютерного проектирования для их использования в приложениях, произведённых другими компаниями.

Кроме сканера “Trimble TX5”, фирма Trimble выпускает (рис.2.8.).



Рис.2.8. Trimble TX8, Trimble VX Spatial Station, FARO Focus 3D X 130

Производством и продажей НЛС занимается известная в геодезии фирма Leica. Под маркой этой фирмы на рынке можно встретить сканеры: LeicaScanStation C10, Leica HDS4400, Leica HDS6100 (рис.2.9.).



Рис 2.9. Лазерный сканер LeicaScanStation C10, Лазерный сканер Leica HDS4400, Лазерный сканер Leica HDS6100

LeicaScanStation P20 - высочайшие скорость сканирования и детальность съемки, компактность, беспрецедентное качество данных на расстоянии до 120 метров, компенсатор угла наклона и функция автоматической проверки и калибровки прибора (рис.2.10.).

Улучшенная производительность. Сверхвысокая скорость сканирования (до 1 млн. точке в секунду) и отличные показатели дальности работы снижают количество перестановок прибора и затрачиваемое на работу время. Запатентованная технология дискретизации сигнала (WFD);



1. Повышенная защищенность. Можно работать на объектах с температурными режимами - 20°C +50°C, класс защиты IP54, класс лазера 2;

2. Отличное качество данных. Наилучшее сочетание высокой точности и низкого соотношения сигнал/шум на больших расстояниях (до 120 м);

Рис.2.10. LeicaScanStation P20

3. Прекрасное управление. Удобный сенсорный экран и возможность удаленного управления, компактный дизайн делают сканер простым в управлении. Функция "Проверка и Калибровка"(Check&Adjust) –нет необходимости отправлять прибор на сервис;

4. Пользователи могут самостоятельно выполнить электронную проверку точности и автоматически настроить параметры прибора.

5. Все необходимые компоненты в одном корпусе: высокоскоростная высокоточная сканирующая система, полноцветный графический контроллер, мощная видеокамера, накопитель данных, встроенный сменный аккумулятор с возможностью "горячей замены", двухосевой компенсатор.

Пространственная 3D точность - 3 мм на 50 м; 6 мм на 100 м, ошибка линеаризации ≤ 1 мм, угол (Горизонтальный/Вертикальный) 8" / 8", точность захвата цели - 2 мм для расстояния до 50 м, двухосевой компенсатор - возможность вкл/выкл, разрешение 1", динамический диапазон +/- 5',точность 1.5" [30] [33].

Австрийская фирма Riegl Laser выпускает сканеры серии VZ (рис.2.11.)



Рис.2.11. Riegl VZ-6000, Riegl VZ-4000, Riegl VZ-1000, Riegl VZ-400

Лазерные системы Riegl – результат 30-летнего опыта исследований, разработки и производства лазерных сенсоров для различных измерительных задач. Лазерные сканеры и дальномеры производства Riegl являются признанными инновационными 3D технологиями во всем мире [31].

Наземные лазерные сканеры Riegl позволяют получать в сжатые сроки детальные высокоточные 3D данные. Наземные лазерные системы Riegl находят применение в широком диапазоне отраслей, включая топографическую съемку и съемку инженерных конструкций, горную, промышленность, архитектуру, археологию, мониторинг, гражданское строительство и моделирование городов.

Мобильные лазерные системы Riegl получают наземные данные с движущихся платформ. Измерительный блок может быть смонтирован на автомобилях, лодках, железнодорожных поездах. Технология также известна как кинематическое лазерное сканирование. 2D и 3D мобильные лазерные сканеры Riegl идеально подходят для создания мобильных картографических приложений.

Промышленные сканеры Riegl идеально подходят для задач и потребностей промышленных предприятий. Проектирование лазерных систем в защищенном исполнении позволяет использовать их в экстремальной жесткой промышленной

среде. Компактность корпуса дает возможность устанавливать сканеры в узком пространстве.

Новый высокоскоростной высокоточный наземный лазерный сканер VZ-6000 обеспечивает сверхдальний диапазон измерений до 6000 м для самых различных приложений. Длина волны лазера отлично подходит для измерений снежной и ледяной поверхностей, для картографирования ледников, задач мониторинга, топографической съемки и для специализированных работ на открытых горных выработках.

Наземный лазерный сканер **Riegl VZ-6000** может поставляться совместно с программным обеспечением RiSCAN PRO для обработки данных наземного сканирования, библиотекой интерфейсов RiVLiB , а также с программным обеспечением RiMINING для автоматизации рабочего процесса обработки данных лазерного сканирования для горной промышленности и программным обеспечением RiMONITOR для обеспечения мониторинга опасных зон и процессов. Плагин RiMTA-3D предоставляет алгоритм для обработки нескольких отражений одного сигнала автоматическим назначением соответствующей MTA (multiple-time-around) зоны для каждого отраженного импульса.

Класс лазера - 3В; максимальная дальность действия до 6000 метров; минимальное расстояние до 5 метров; точность: ближний режим : 15 мм, дальний режим: 15 мм; точность по облаку: ближний режим: 10 мм, дальний режим: 10 мм; эффективная производительность: ближний режим: 222 000 изм/сек, дальний режим: 37 000 изм/сек; длина волны лазера - ближняя инфракрасная область; расходимость луча - 0.12 mrad. Производительность сканера: вертикальный (линейный) скан - диапазон сканирования: 60° (+30° / -30°), сканирующий механизм: вращающееся \ качающееся зеркало \ шаг, частота сканирования: от 100°/сек до 14,400°/сек, шаг сканирования: от 0.002° до 0.280°, угловое разрешение: 0.0005°; горизонтальный (структурный) скан - диапазон сканирования: 360°, сканирующий механизм: вращающаяся головка, частота сканирования: от 0° до 60° в секунду, шаг сканирования: от 0.002° до 3°, угловое

разрешение: 0.0005° , датчики наклона: встроенные, для вертикальной установки сканера, таймер синхронизации: встроенный датчик для GPS – синхронизации.

2.3. Влияние метрологических свойств объектов на точность наземной лазерной съемки

Ряд факторов, влияющих на точность данных облака точек, включает возможности инструмента, калибровку и меры по контролю качества. Условия окружающей среды, влияющие на чистоту данных, включают отражающую способность поверхности, угол между сканером и объектом (угол охвата) и дистанция до объекта (лазерный луч рассеивается с увеличением расстояния, поэтому измерения на дальнем расстоянии менее точные) [13].

На результаты наземного лазерного сканирования основное влияние оказывают следующие метрологические свойства объектов: форма и отражающая способность, которая, в свою очередь, определяется текстурой, цветом. Влияние объекта съемки на точность получения пространственной информации, в основном, проявляется в погрешности измеряемых расстояний.

При измерении расстояний импульсным методом форма лазерного сигнала в большинстве случаев соответствует кривой Гаусса с определенной шириной. Длительность лазерного импульса для диодов, применяемых в современных сканерах, изменяется в пределах от нескольких десятков пикосекунд до нескольких наносекунд, поэтому на практике для определения расстояний от сканера до объекта и обратно должно измеряться время распространения сигнала между максимумами двух функций (рис.2.12.), соответствующих выходному (опорному) и входному (рабочему) электромагнитному сигналу.

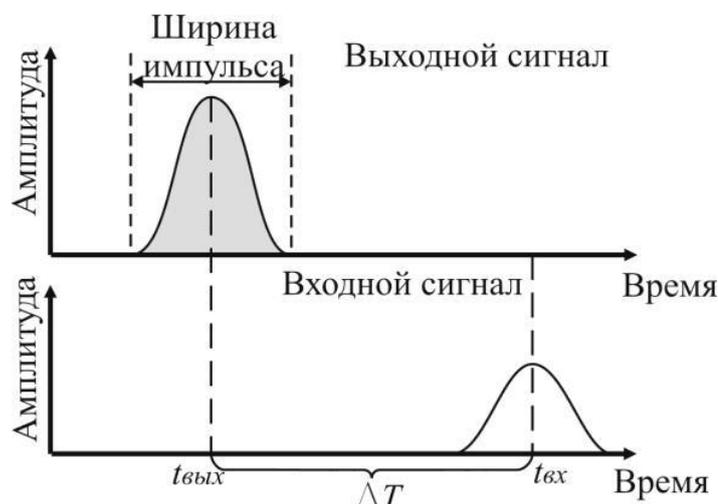


Рис.2.12. Время распространения импульса в пространстве

Аналогичным образом определяются расстояния фазовым методом, так как измерение дробной части длины полуволны осуществляется подобно импульсному методу. Используемые цифровые фазоизмерительные устройства регистрируют кратковременные импульсы, каждый из которых соответствует определенной фазе излучаемого и принимаемого светового потока. Кратковременные импульсы образуются из синусоидальных электрических сигналов, подаваемых на фазоизмерительное устройство [19].

При наземном лазерном сканировании на результаты поиска максимумов обеих функций влияют наличие шумовых составляющих в электромагнитном сигнале, апертура выходного сигнала лазера, величина расходимости лазерного луча, расстояние до объекта, форма и отражающая способность цели.

Как показывает опыт выполнения сканерной съемки, ошибки в расстояниях, связанные с метрологическими свойствами объектов, могут достигать нескольких метров (если расходимость лазерного луча более 1 мрад $\approx 3,5$), а в среднем составляют 1–3 см.

Очевидно, что большинства проблем, связанных с влиянием структуры, формы, ориентации и цвета объекта на результаты сканирования, можно избежать, если уменьшить расходимость лазерного луча, то есть увеличить степень его коллимации, тем самым улучшив метрические характеристики сканов.

Влияние таких характеристик объекта, как форма, цвет и структура, учитывать в реальных условиях сканирования очень сложно, поэтому трудно сделать однозначные выводы о точности получения данных сканирования того или иного объекта. Эту задачу можно решить, применяя методы математического моделирования процесса сканерной съемки конкретных объектов с использованием формулы (5) [21].

2.4. Применение наземных лазерных сканеров в строительстве и эксплуатации инженерных сооружений

Благодаря своим преимуществам, наземное лазерное сканирование находит широкое применение во многих областях науки, техники и отраслях народного хозяйства, а именно [27], [32]:

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;

обновление генплана и воссоздание утраченной строительной документации действующего объекта.

б) горная промышленность:

определение объемов выработок и складов сыпучих материалов;

создание цифровых моделей открытых карьеров и подземных выработок с целью их мониторинга (данные об 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;

калибровка нефтеналивных наземных резервуаров и танков наливных судов.

г) архитектура:

реставрация памятников и сооружений, имеющих историческое и культурное значение;

создание архитектурных чертежей фасадов зданий;

реставрация, ремонт, отделка, переоснащение внутренних помещений или отдельных элементов декора.

д) разработка мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;

е) медицина:

создание модели туловища человека с целью производства корсетов индивидуальной формы;

производство протезов зубов;

ж) выполнение топографической съемки территорий, имеющих высокую степень застроенности;

з) судостроение;

и) моделирование спортивных тренажеров.

к) создание двумерных и трёхмерных геоинформационных систем управления предприятием.

л) фиксация ДТП и мест преступлений.

м) туннелестроение.

н) археология.

2.5. Преимущества применения наземных лазерных сканеров

Изображения, получаемые НЛС, обычно несут чрезвычайно большой объем информации, являющийся в ряде случаев избыточным. Во-первых, такая информация обладает статистической избыточностью, заключающейся в том, что соседние элементы изображения друг друга повторяют. Если применить теорему Котельникова – Шинона, согласно которой «произвольный сигнал, спектр которого не содержит частот выше f_B , может быть полностью восстановлен, если известны отсчетные значения этого сигнала, взятые через равные промежутки времени $1/(2f_B)$ », то следует, что наземное лазерное сканирование является непрерывным способом получения информации об объекте съемки, так как обычно пространственное разрешение сканирования выше, а угловой шаг сканирования меньше ошибки определения координат отдельных точек наземным сканером. Во-вторых, изображения обладают психовизуальной избыточностью, т. е. часть информации на получаемых сканах может быть исключена без последствий для восприятия их человеком. Другой тип избыточности сканов определяется их «семантической» природой, позволяющей при обработке изображения учитывать особенности организации реального мира.

Именно свойства избыточности позволяют говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте. Помимо высокой степени автоматизации, наземное лазерное сканирование обладает также следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации [21]:

- а) возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях (в момент сканирования измеряются дальность, вертикальный θ и горизонтальный φ 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 сканирования 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;
- з) работы можно выполнять при любых условиях освещения, т. е. днем и ночью, так как сканеры являются активными съемочными системами;
- и) высокая степень детализации;
- к) многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

2.6. Перспектива применения наземных лазерных сканеров в Узбекистане

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 объемов 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 (рис.2.13.).

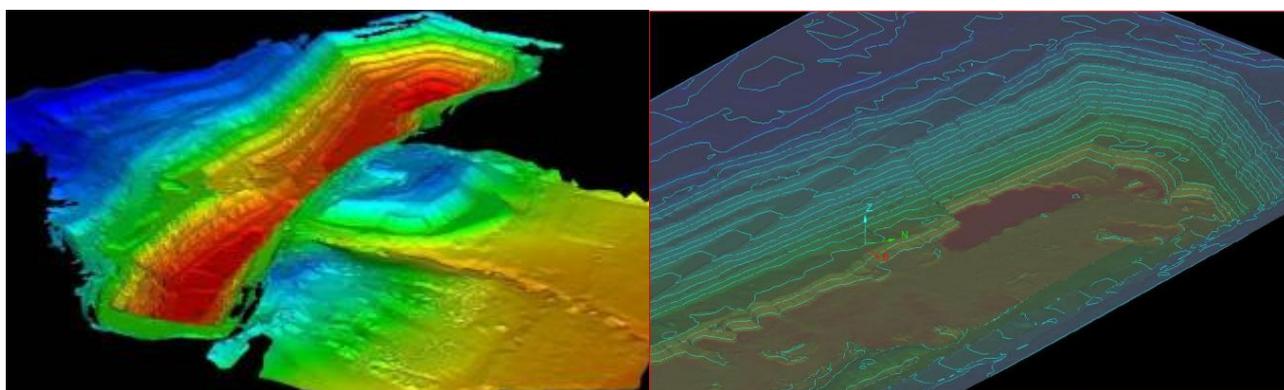


Рис.2.13. Модель поверхности склонов карьеров

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 буровых 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 [16].

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 2.2..

Практический опыт [14] 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 (рис.2.14.) эксплуатируется большое количество сварных вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС), используемых для хранения и учета нефтепродуктов. Данные резервуары имеют вместимость от 100 м³ до 50000 м³ и требуют проведения периодического технического диагностирования и проверок [5], 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	$\leq 0,25$ (диаметр пятна $\leq 1,2$ см на расстоянии 50 м)	≤ 2 (диаметр пятна ≤ 20 см на расстоянии 100 м)
Скорость выполнения измерений, точек/с	≥ 4000 (позволяет получать 5×10^6 точек за время ≤ 20 мин)	≥ 4000 (позволяет получать 5×10^6 точек за время ≤ 20 мин)
Минимальный угловой шаг сканирования, градус	$\leq 0,06$ (линейный шаг ≤ 4 см на расстоянии 40 м)	$\leq 0,1$ (линейный шаг ≤ 7 см на расстоянии 40 м)
Угол поля зрения в вертикальной плоскости, градус	≥ 80	≥ 80
Минимальная рабочая температура, °C	≥ 0	≥ -10
Класс защищенности	Не ниже IP42	Не ниже IP42
Класс безопасности лазера	Не ниже 3R	Не ниже 3R

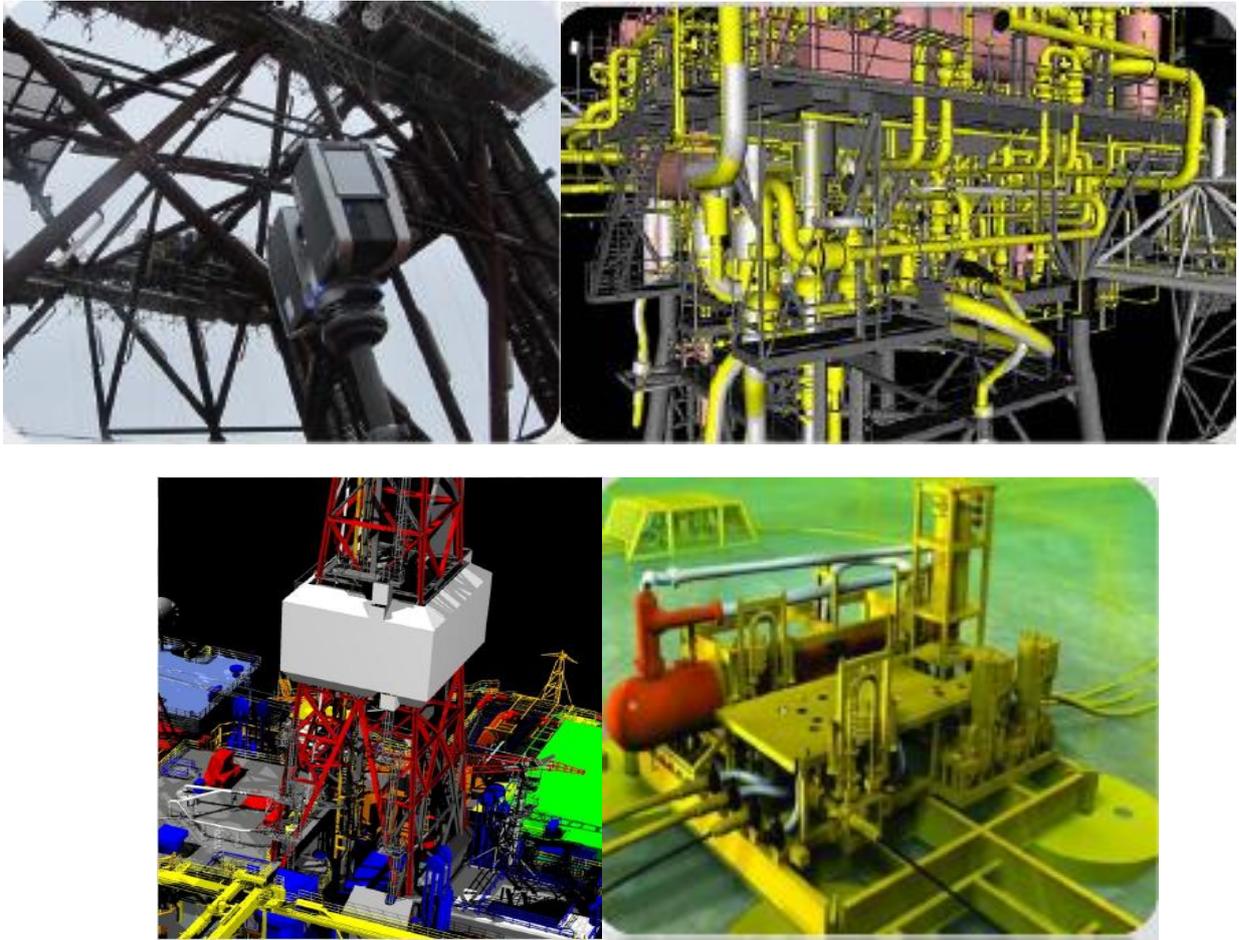


Рис.2.14. Объекты нефтегазодобывающего комплекса

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 (рис.2.15.). Мониторинг состояния растительности и выявление проблемных участков возможных замыканий. Подготовка данных для планирования мероприятий по очистке полосы отчуждения.

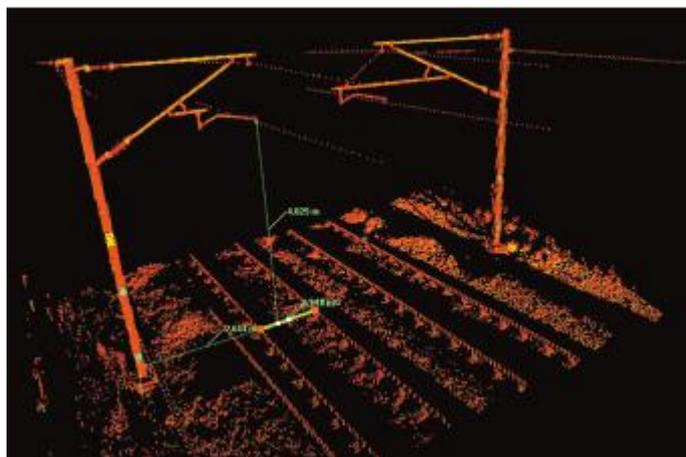


Рис.2.15. Сканирование ЛЭП

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 (рис.2.16.). Планирование прокладки коммуникаций на предмет наличия препятствий до начала работ.

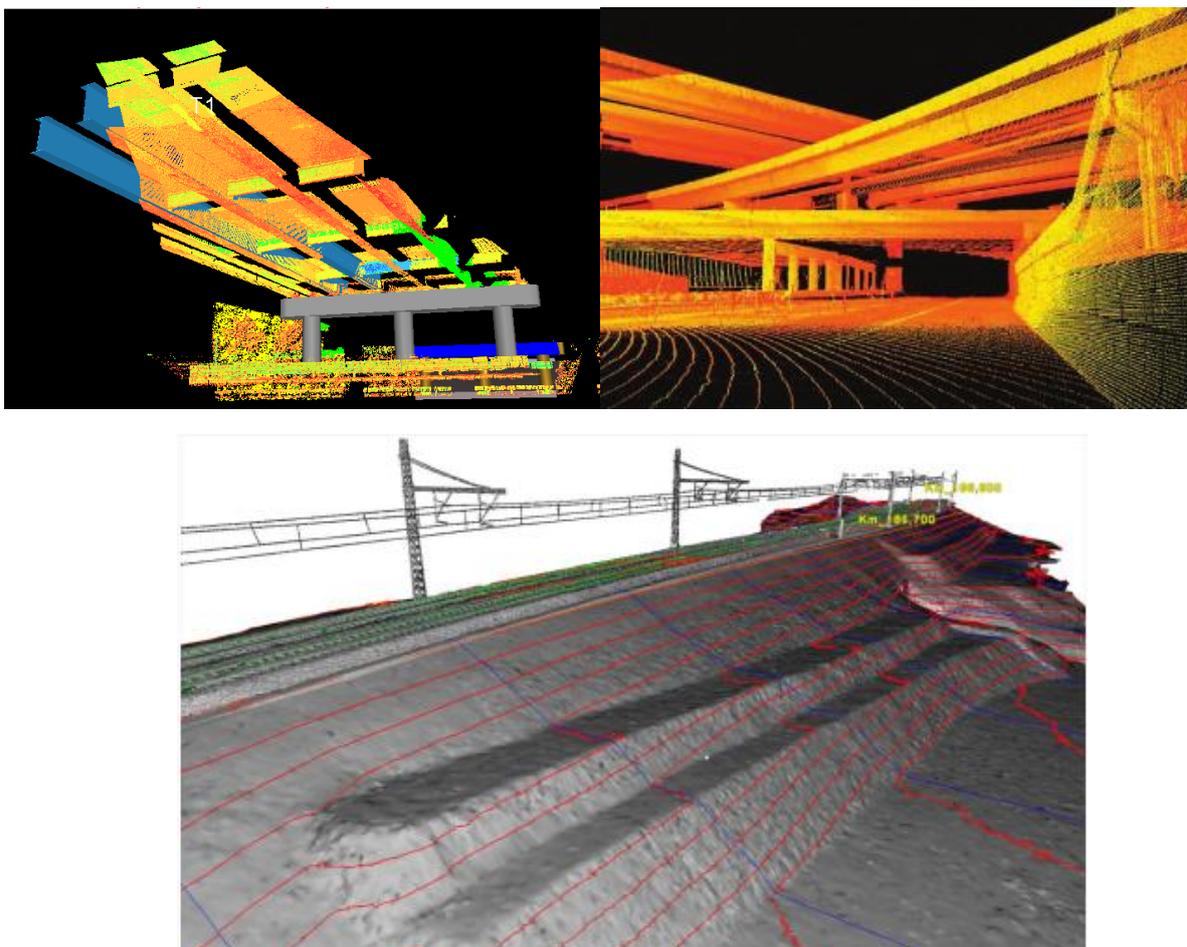


Рис.2.16. Применение сканирования в дорожном строительстве

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 [16], 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.

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.

Градостроительство. 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 по их высоте получаются из наземного лазерного сканирования. Данная технология моделирования зданий и сооружений включает следующие этапы [15]:

- 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 [15].

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 [15].

На последнем этапе работ выполняется текстурирование трехмерной модели, которое заключается в наложении текстур на поверхность моделей объектов с соблюдением их правильной ориентации [15].

Такая технология позволяет создать трехмерную модель с точностью, соответствующей точности топографического плана, что удовлетворяет требованиям при проектировании застройки городских территорий [15].

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.

2.7. Выводы

Исходя из опыта применения наземных лазерных сканирующих систем для решения прикладных задач в различных областях народного хозяйства (топография, маркшейдерия, геология, архитектура, строительство, судостроение, археология, медицина и др.), можно смело говорить об уверенном внедрении данной технологии в повседневную практику. Концепция полной автоматизации при сборе пространственных данных об объектах местности средствами лазерной локации позволяет решить две основные проблемы любого производства:

- 1) увеличить производительность работ;
- 2) повысить качество и надежность получаемой продукции.

Фактически, точность определения координат точек местности с использованием наземных лазерных сканеров зависит в основном от характеристик прибора. Повышение надежности результатов сканирования обусловлено, прежде всего, снижением влияния человеческого фактора при работе с прибором. При камеральной обработке материалов полевых сканерных съемок по-прежнему большую роль играет опыт оператора в интерпретации большого объема данных лазерного сканирования, и проблема автоматизации обработки этих данных становится главной. Однако в этом направлении ведутся активные разработки алгоритмов и программных продуктов, позволяющих упростить и автоматизировать работу «камеральщика».

Быстрому внедрению технологии наземного лазерного сканирования в производство способствовала тенденция перехода от классической двумерной картографии и проектирования к трехмерному описанию объектов реального мира. Преимущества трехмерных моделей по своей информативности и наглядности бесспорны перед традиционными двумерными планами, картами и чертежами. За последние два десятка лет технология описания объектов реального мира с помощью трехмерного компьютерного моделирования перешла от фантастики к действительности. Например, в условиях возрастания стоимости земельных ресурсов в некоторых странах внедряются системы трехмерного

кадастра объектов недвижимости, позволяющие при регистрации учитывать объем используемого пространства, а не площадь земельного участка.

Таким образом, наземные лазерные сканеры являются новым измерительным средством, позволяющим сделать реальным и повседневным получение трехмерных моделей различного назначения.

Все это позволяет говорить о том, что в ближайшее время технология наземного лазерного сканирования если не полностью вытеснит, то, по крайней мере, займет ведущее положение в области полевого сбора метрической информации с целью трехмерного моделирования объектов и территорий.

Глава 3. Использование, анализ и разработка рекомендаций по внедрению технологии лазерного сканирования для решения геодезических задач

3.1. Методология проведения работ по трёхмерному лазерному сканированию архитектурного ансамбля Регистан в городе Самарканд

3.1.1. Общая информация об архитектурном ансамбле Регистан

Объект сканирования: ансамбль Регистан (Объект всемирного наследия ЮНЕСКО, № 603).



Рис.3.1. Ансамбль Регистан

Площадь Регистан (рис.3.1.) в Самарканде — площадь в центре города. Слово «Регистан» означает «песчаное место». В средневековье во всех крупных городах Центральной Азии главная, дворцовая площадь называлась Регистан. Площади с таким названием были возведены в Бухаре, Ташкенте, Шахрисабзе. Самаркандская площадь является самым известным регистаном благодаря расположенному на ней знаменитому архитектурному ансамблю XV—XVII веков. Во времена Амира Темура, Регистан был — главной торговой площадью Самарканда. Во времена правления Мирзо Улугбека (1409—1449) площадь, кроме всего прочего, становится местом официальных ритуалов и церемоний. Современный ансамбль Регистан составляют медресе Улугбека, медресе Шердор и медресе Тилля-Кори.

3.1.2. Процесс сканирования архитектурного ансамбля Регистан

Процесс сканирования. *Сканирование производилось сканером Leica P20.*

1. Установка марок. Перед началом процесса сканирования определяются места закрепления связующих марок. Связующие чёрно-белые круглые марки располагаются из учёта минимальной видимости 2-х марок. Для объединения облаков точек полученных посредством лазерного сканирования необходимо наличие как минимум двух связующих марок, в случае если обеспечивается условие попадания марок в поле зрения сканера с каждой станции сканирования. В случае, если, требуется объединение сканирований получаемых последовательно один за другим следуя по определённому маршруту, то в этом случае необходимо обеспечивать наличие в поле видимости сканера как минимум 4-х связующих марок. Это связано с тем, что для регистрации сканов в единую систему координат необходимо ориентировать каждую систему по 2-м соответствующим маркам. Однако при необходимости сгущения сети связующих точек можно использовать местные предметы и элементы ситуации. Так, например, программное обеспечение Leica Cyclone позволяет производить регистрацию сканирований посредством сферических объектов. Т.е. при наличии в поле зрения сканера нескольких сферических объектов (фонарей уличного освещения и т.п.) и отсутствия по каким-либо причинам дополнительных связующих черно-белых марок можно без особых проблем использовать их для сканирования и получать объединенное облако точек с допустимыми погрешностями.

2. Выбор места стояния сканера. Следует заметить, что архитектурные сооружения, подобные тем что составляют ансамбль, обладают изрядным количеством деталей (как мелких, так и крупных), вследствие чего при проведении сканирования следует уделять особое внимание правильному подбору места стояния сканера. Любой угол, навес, выступающая часть фасада, колонна, элементы ландшафта и многое другое могут стать помехой для сканера и причиной возникновения так называемых «теней», т.е. участков не покрытых облаком точек, что может отрицательно повлиять на полноту получаемых

данных. Во избежание появления теней следует увеличивать количество станций, стоит так же учитывать, что в этом случае может возникнуть необходимость установки дополнительных связующих марок, о чём следует позаботиться заранее.

3.Частные случаи выбора позиции и настроек сканера. Сканирование архитектурного ансамбля Регистан начиналось с фасада медресе Улугбека. Целью выбора позиции сканирования было обеспечение покрытия всего входного портала и прилегающих элементов, таких как внутренний свод и внешняя поверхность портала с более мелкими элементами декора.

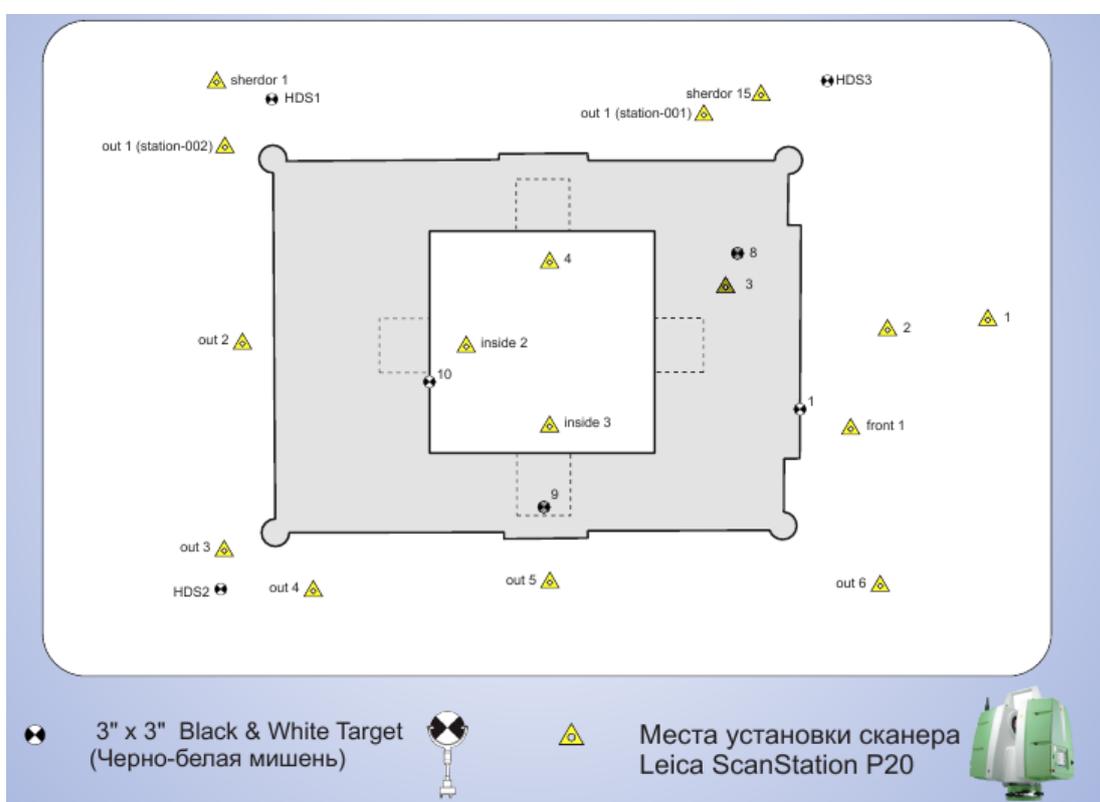


Рис.3.2. Схема расположения станций сканирования и связующих марок при сканировании медресе Улугбека.

Для этого были выбраны позиции 1 и 2 (рис.3.2.). Связь обеспечивалась маркой на медресе Улугбека и марками, установленными на здание медресе Шердор. Сканер настраивался на 27-ми минутное сканирование с покрытием в 3мм на 10 м. Затем производилось сканирование внутреннего правого коридора медресе. Отличной особенностью сканера Leica P20 стала снимающаяся ручка,

благодаря которой удалось избежать потерь данных при сканировании потолка. При проведении работ в помещениях подобных коридорам, следует обращать внимание, на то, соблюдается ли условие видимости как минимум 4-х связующих марок (двух предыдущих на центральной площади и 2-х последующих во дворе здания), так как в случае отсутствия хотя бы одной могут возникнуть трудности при регистрации.

4. Особенности и специфика сканирования площади Регистан.

Следующей задачей стало сканирование внутренней части здания – двора сложной формы. Для этого в условиях хорошей видимости, достаточно трёх марок для станции 4, и 2 марок для остальных станций в условиях замкнутого помещения. Сложность заключалась в том, что помимо наличия множества дверей, окон и порталов во дворе растут деревья и плотным потоком передвигаются посетители. В этих условиях приходилось устанавливать большое разрешение и следить за тем, что бы все элементы памятника архитектуры попадали в поле зрения сканера, а именно, таким образом были выбраны станции 4, inside 2 и inside 3 (рис.3.2.), которыми обеспечивалось покрытие внутренней части медресе Улугбека. Связующими марками стали марки под номерами 8,9,10, предварительно установленные на стенах здания. Следует также отметить, что если какая-либо марка будет неожиданно перекрыта человеком проходящим мимо, то сканирование придётся перевыполнять. Затем, используя уже выработанную методику выполнялось сканирование внешней стены медресе Улугбека. В силу прямолинейности конфигурации внешней стены здания, главными факторами влияющими на выбор позиции сканирования стали геометрические особенности минаретов. Особенности минаретов, учитывая специфику лазерного сканирования, является их цилиндрическая форма и высота. Если, к примеру, нужно отсканировать здание с прямоугольными стенами, то достаточно устанавливать сканер как можно более центрально напротив каждой стены здания. В случае с минаретом приходилось устанавливать дополнительное количество станций (рис.3.3.) что бы избежать появления теней, а так же отодвигать сканер на некоторое расстояние от стены, что бы избежать

погрешностей, вызванных большим углом отражения лазерного луча от внешней поверхности минарета. Такой принцип выдерживался при сканировании всех минаретов архитектурного комплекса.

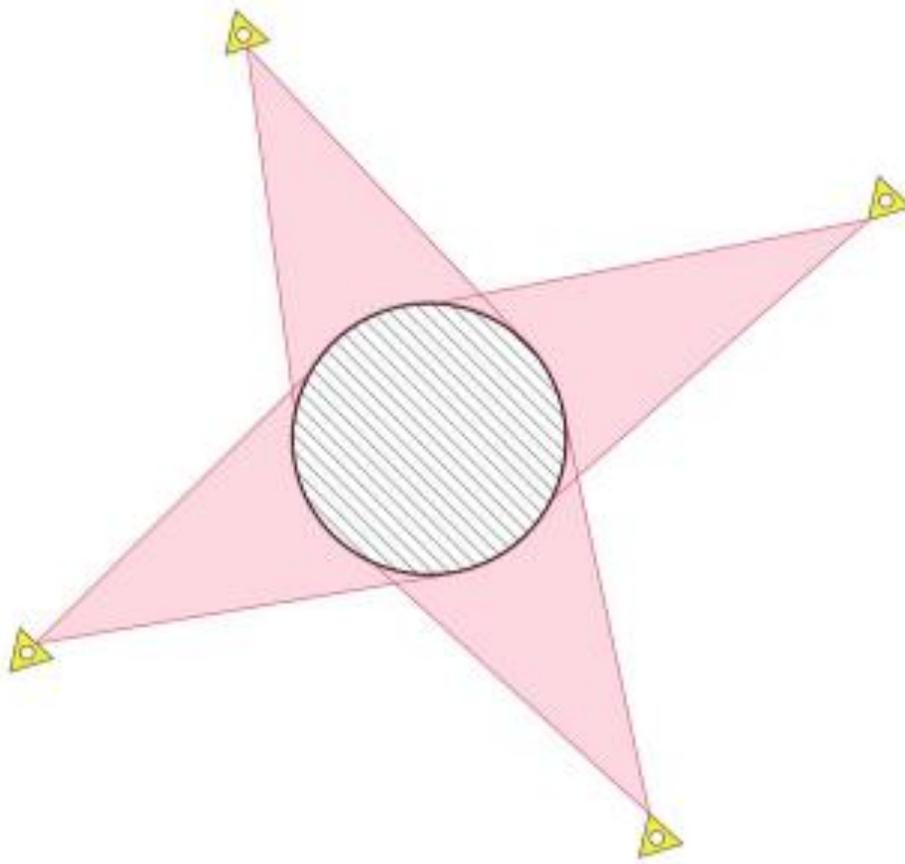


Рис.3.3. Схема расположения точек стояния сканера при сканировании минаретов.

Следующим этапом стали работы над медресе Тилля-Кори. Здесь сканирование производилось теми же методами, исключение может составить то, что медресе располагает большим и очень интересным куполом (рис.3.5.). Было принято решение отсканировать внутреннюю его поверхность.

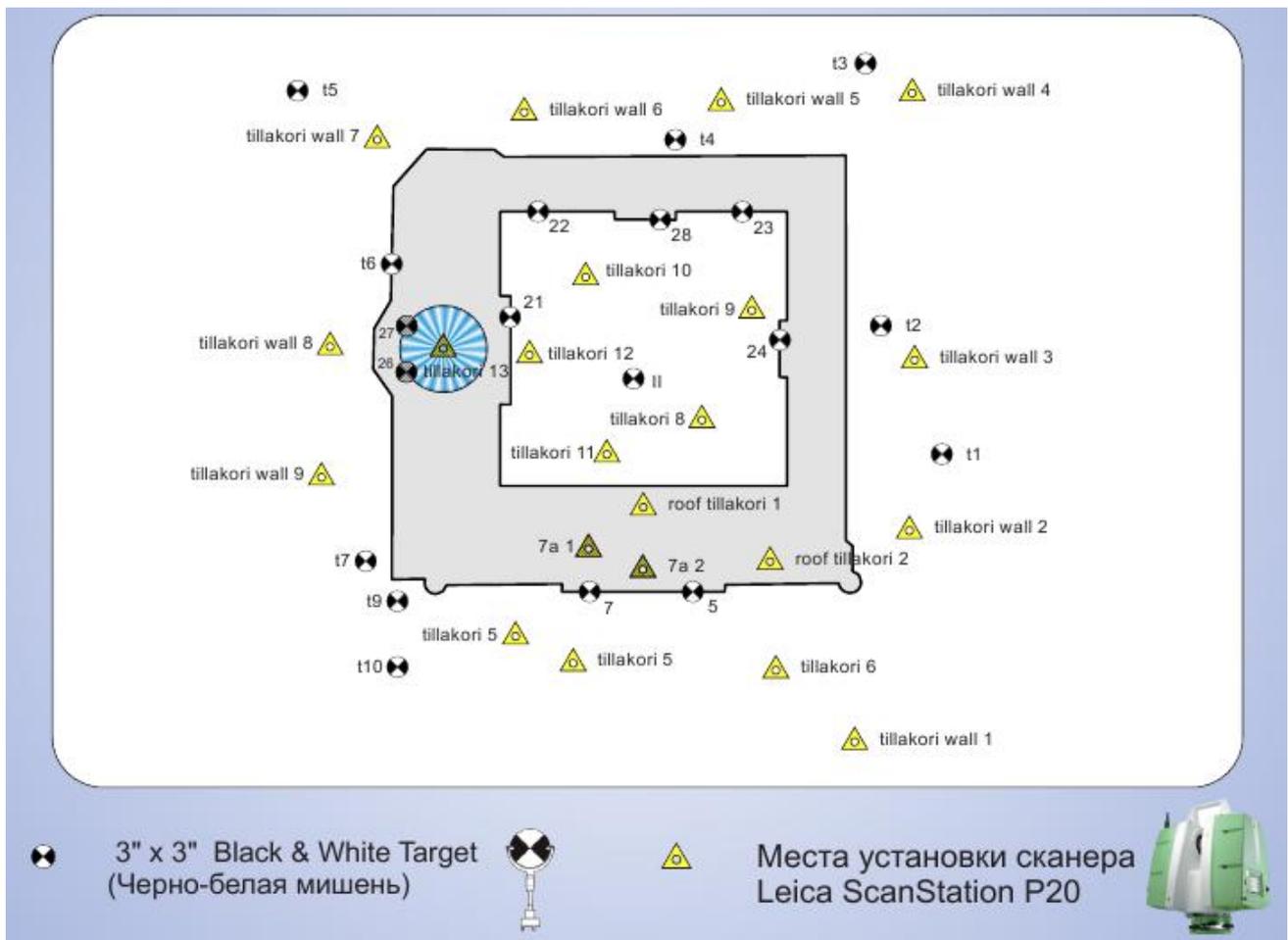


Рис.3.4. Схема расположения станций сканирования и связующих марок при сканировании медресе Тилля-Кори.

В этом случае из-за ограниченной видимости (узкий дверной проём перекрывал видимость задних марок) возникла необходимость в установке дополнительной марки на штативе (марка II на рис.3.4.). Впоследствии результаты были сшиты, что дало впечатляющий результат. А именно, появилась возможность производить измерения недоступных рулетке зон, выполнять разрезы, составлять чертежи непосредственно по облаку точек, создавать ортоизображения фасадов (рис. 3.6., 3.7., 3.8.).

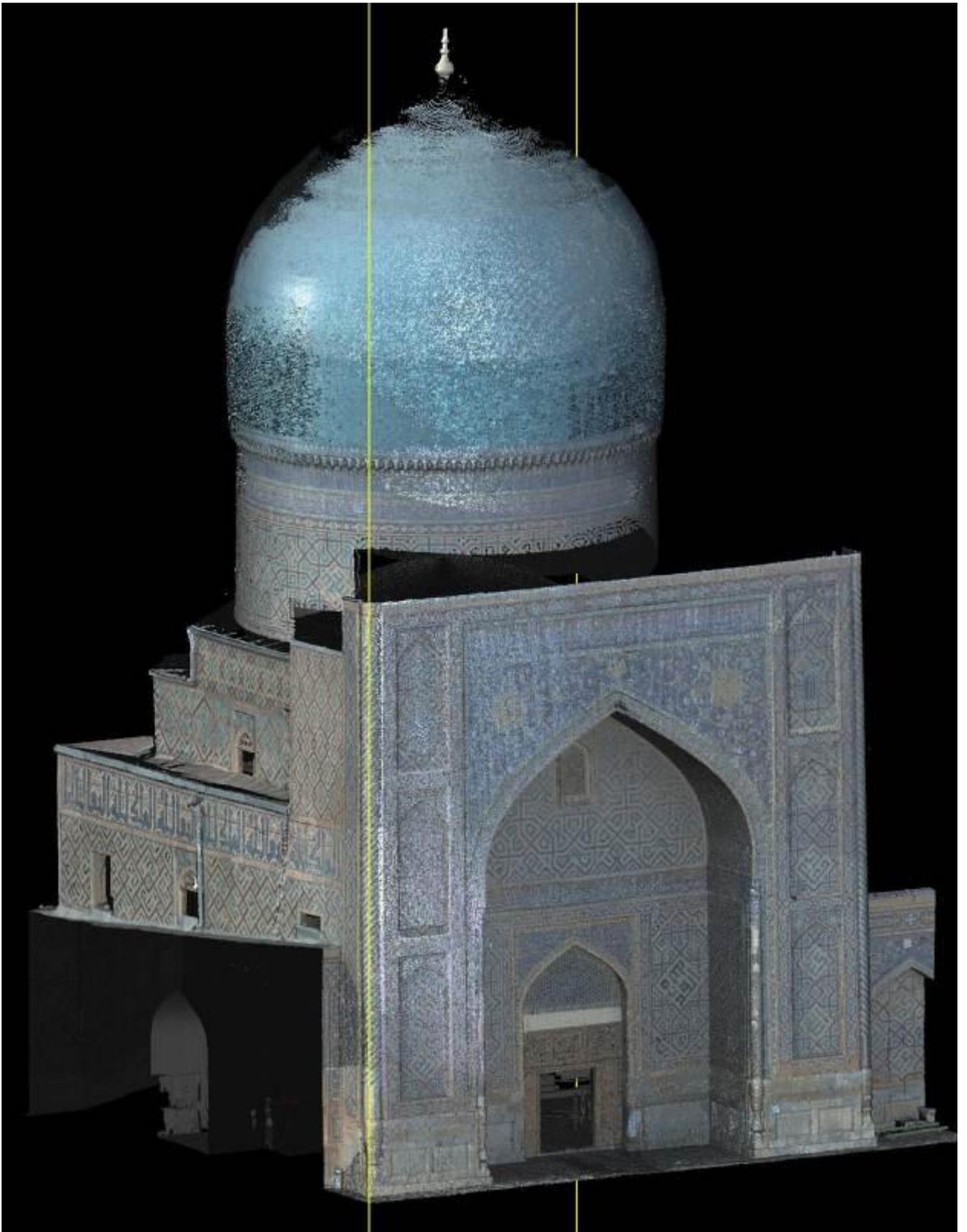


Рис.3.5. Купол и его входной портал (медресе Тилля-Кори)

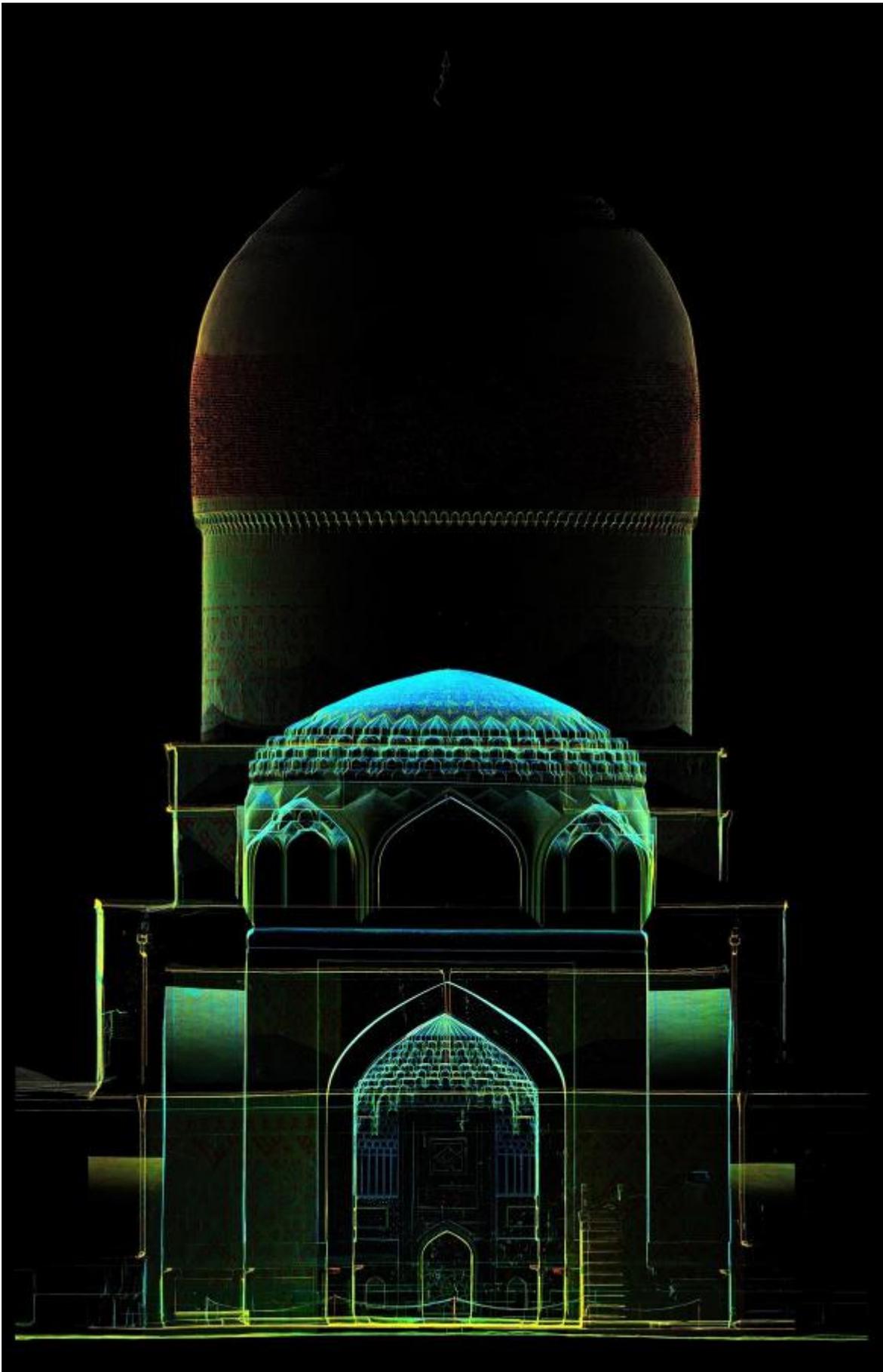


Рис.3.6. Фронтальный разрез купола медресе Тилля-Кори

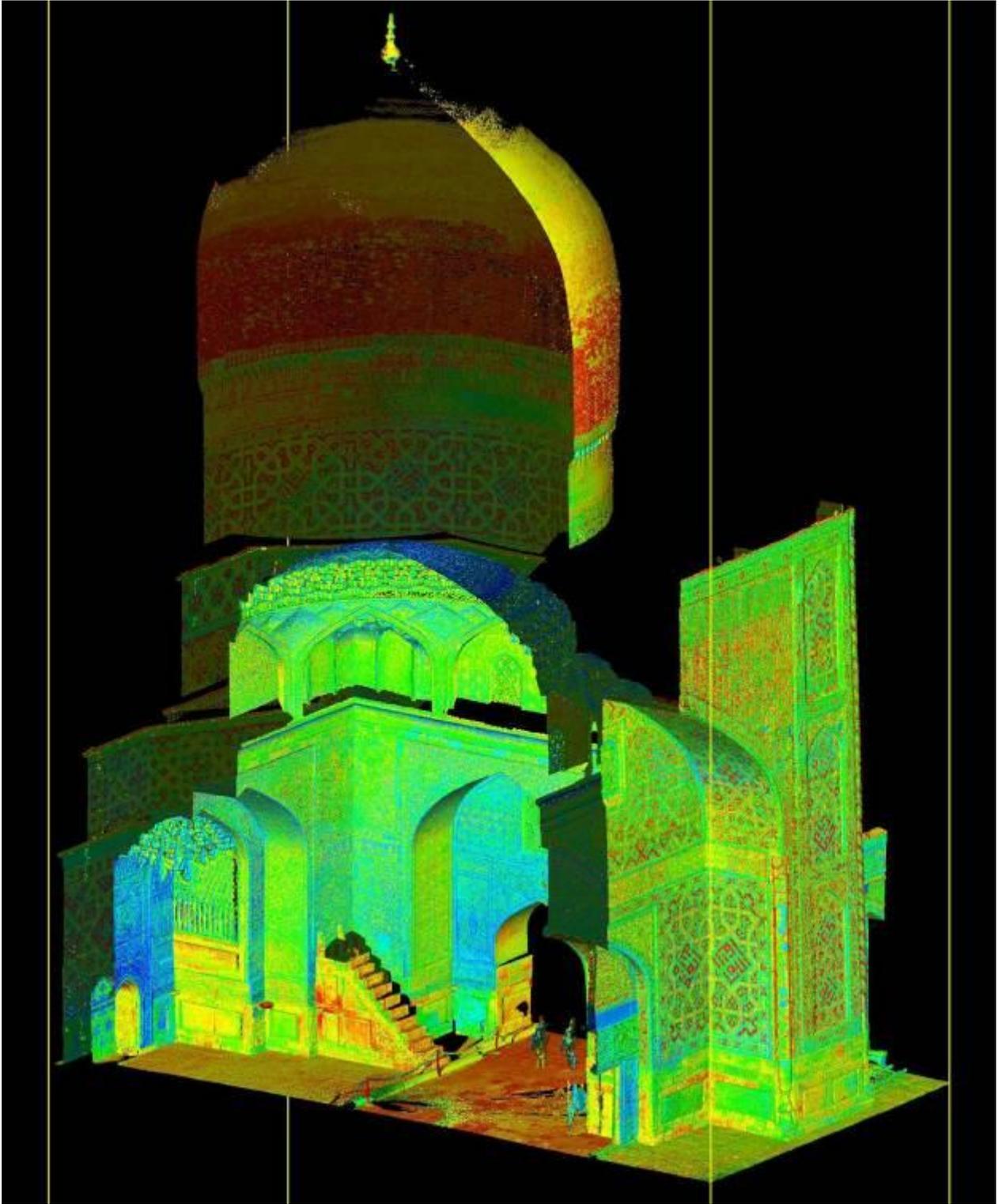


Рис.3.7. Продольный разрез купола медресе Тилля-Кори

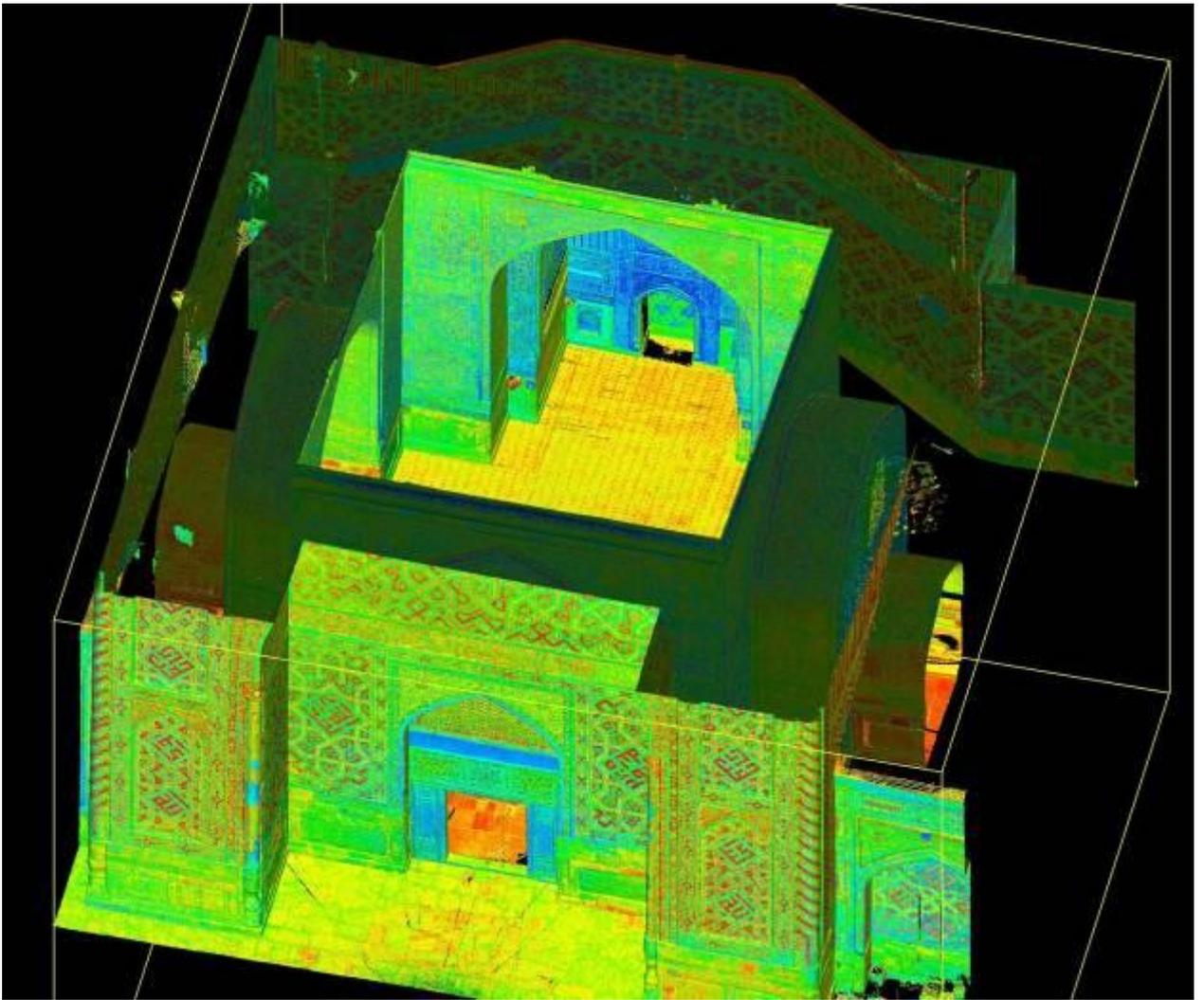


Рис.3.8. Поперечный разрез купола медресе Тилля-Кори

Точность объединения сканов купола и внутреннего двора составила 2 мм.

Ещё одним исключительным моментом стало сканирование крыши. Оно производилось с 2-х станций roof tillakori1 и roof tillakori 2 (рис.3.4.). Сканирование соединялось с общей системой координат при помощи марки центральной площади (I), а так же марки внутреннего двора (23). Сканирование с крыши проводилось так же для увеличения детальности отображения купола на облаке точек.

Внешняя часть здания сканировалась уже отработанными при сканировании медресе Улугбека методами, отличным подспорьем стало отсутствие минаретов в задней части медресе, благодаря чему команда из 3-х человек справилась со станциями tillakori wall 1 до tillakori wall 9 приблизительно за 2-3 часа.

Медресе Шердор не создавало каких-либо особых трудностей, был затрачен 1 рабочий день для того что бы полностью покрыть облаком точек внешнюю поверхность здания и внутреннего двора (рис.3.9.).

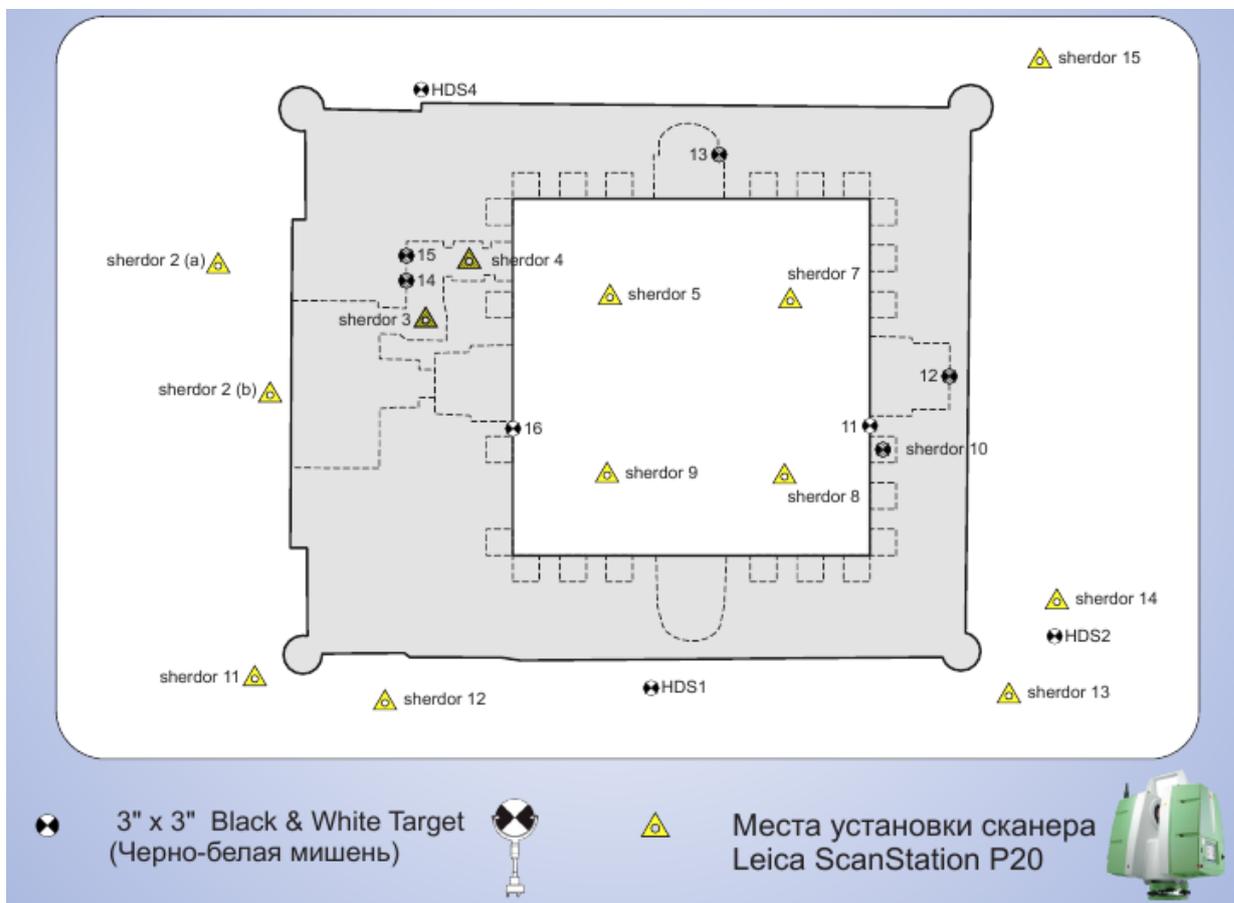


Рис.3.9. Схема расположения станций сканирования и связующих марок при сканировании медресе Шердор

Регистрация результатов сканирования производилась при помощи программного обеспечения LeicaCyclone. Каждая связующая марка распознавалась автоматически и регистрировалась с соответствующей маркой из другого сканирования. Таким образом, все сканы были объединены друг с другом и получены три облака точек, соответственно количеству медресе площади Регистан.

Количество станций, вошедших в итоговую регистрацию по трём облакам точек - таблица 3.1.:

Медресе Улугбека - 13

Медресе Тилля-Кори - 23

Медресе Шердор - 17

Работы выполнялись командой из 5 человек.

Таблица 3.1.

Время работы	Количество завершённых станций сканирования
13.30-18.00	8
8.30-18.00	14
8.30-16.30	21
9.00-17.00	23
9.00-13.00	Обработка данных

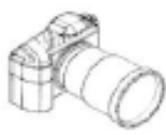
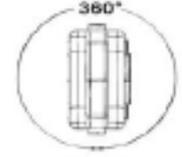
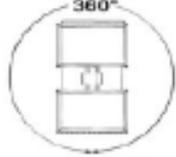
3.2. Сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров и обработки данных с традиционными методами и приборами при решении геодезических задач

Сравнительный анализ применения наземных лазерных сканеров на основании таблицы 3.2. [13], показывающей различия традиционных методов и захвата физических данных при помощи 3D сканирующих систем. Таблица кратко описывает общие сканирующие системы в сравнении с традиционными приборами для съёмки.

При непосредственном сравнении с традиционными геодезическими системами для выполнения традиционных геодезических мероприятий, лазерное сканирование дает больше данных по сравнению с тахеометрами. 3D сканирование приносит больше чем эффективность существующего процесса – оно создает новые варианты анализа, измерений, оценки и мониторинга.

На протяжении последних десятилетий было предпринят ряд крупномасштабных реализаций 3D сканирования и моделирования. При сканировании городского масштаба используются автомобили (автотранспортные средства), неподвижное жёсткое крыло или вертолёт с закреплённым на борту 3D сканером для съёмки окружения в 3D во время движения.

Таблица 3.2.

	Традиционные приборы		Приборы 3D сканирования		
	Цифровая камера	Тахеометр	Импульсный сканер	Фазовый сканер	Световой сканер
					
Технология	Фотограмметрия	Съемка	3D сканирование	3D сканирование	3D сканирование
Формат	Наземный Воздушный	Наземный	Наземный Воздушный Мобильный	Наземный Мобильный	Наземный Мобильный
Стоимость	5	\$\$	\$\$\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$
Дальность	не доступно	До 1 км (с призмой)	4-6 км	12-190 м	1 км
Точность*	<10 см (воздушный)	1 мм	3 мм	2 мм	50 мм
Метод измерений	Общие связующие точки между изображениями	По разности фаз (через отражатель)	Время прохождения импульса между излучателем и приёмником	Разница фаз (непрерывной волны)	Однократный импульс регистрируемый на плоскости фокусного массива (FPA)
Угол обзора (вертикальный)	 *в зависимости от линзы	 *ручное вращение			 *в зависимости от линзы
Угол обзора (горизонтальный)	 *в зависимости от линзы	 *ручное вращение			 *в зависимости от линзы

**Приведены усреднённые данные, сильно зависящие от оборудования и методологии*

Сканеры дальнего действия могут захватывать высокоточные данные целых городских или сельских районов, а так же обеспечивать значительное преимущество по сравнению с цифровой фотограмметрией в интерпретации наземных поверхностей и деталями, скрывающимися за деревьями и другими препятствиями. Мобильные системы сканирования, при поддержке технологии 3D сканирования, позволяют собирать высокоточные данные и дистанционные измерения в ходе поездки на нормальных скоростях, обеспечивая скорость и безопасность выполнения работ, по сравнению с тахеометрами, для которых может потребоваться перекрытие трафика дорожной сети во избежание угроз безопасности персонала. В качестве стандартного применения мобильных

сканирующих систем производится съёмка крупных дорожных сетей, что значительно быстрее и безопаснее, чем тахеометром. Полученные данные могут быть использованы для оценки состояния дорожного полотна или насыпи, что бы определить потребности в техническом обслуживании или при возникновении риска для персонала, и могут быть интегрированы с объектами GIS-систем управления, чтобы служить в качестве интерактивной записи больших дорожных сетей. В дополнении, 3D сканирование облегчает создание моделей целых городов, как наземные, так и мобильные данные фасадов зданий могут быть объединены с данными воздушной съёмки для получения лучшего покрытия целевой территории (рис.3.10.). Особенности окружения, включая здания, дороги и другие объекты, могут быть автоматически извлечены из облака точек. Эти полезные данные могут обеспечить бесчисленным количеством преимуществ для улучшения управления предприятием, для работ по техническому обслуживанию, для градостроительного планирования, для работы с общественностью и для программ приоритетных объектов.



Рис.3.10. 3D сканирование позволяет быстро собирать данные в городском масштабе

В любой геодезической съёмке при помощи тахеометров производится набор пикетов, в зависимости от масштаба и по ГОСТу, а при помощи лазерных сканеров снимается весь видимый участок съёмки. Данные сразу выводятся на монитор компьютера, с которыми можно работать и вытаскивать координаты любой точки. Это экономит огромное количество времени. Производится съёмка

существующего состояния в высоком разрешении, выявление ошибок 2Д исполнительной документации, снижение рисков при работе, мониторинг и документирование прогресса строительства, запись культурных и исторических сооружений и артефактов.

Например:1) Применение в архитектуре. Сканирование фасада здания занимает 1 час, точек стояния - 2, обработка (регистрация) - 5 минут, чертеж по облаку точек отсканированного фасада занимает 3 часа. Создание трехмерной модели здания занимает 1 рабочий день.

2) При реконструкции объектов можно сканировать объекты любых размеров. Быстрая и точная съемка для создания чертежей элементов, классические обмеры которых сильно затруднены (фасады округлой или неправильной формы, план подвальных помещений).

3) Съемка кренов и отклонений, на основании которой можно составлять наглядные графики сразу в 3D проектировании.

4) Особой отличительной основой лазерного сканирования является детальность. Неровности геометрии зданий точно отображаются на трехмерных сканах.

5) Измерения объемов вне зависимости от формы и размеров объекта. Также измерение объемов земельных масс.

6) Перепроектирование и дизайн. 2Дчертежи по трехмерным моделям и облакам точек. Анализ коллизий.

7) Контроль качества выполненных строительных работ: исполнительная съемка; сравнение проектной модели с отстроенным объектом; контроль прокладки коммуникаций; авторский надзор.

8) Детальная 3D модель фасадных барельефов архитектурных сооружений используется в целях проектирования и реконструкции, а также для создания копий или восстановления барельефа посредством 3Дпечати.

9) Цифровая модель рельефа используется как основа для: создания топографических планов в любом масштабе; расчета объемов земельных работ с расширенным спектром возможностей для расчетов объемов площадей по

поверхности сложной конфигурации; при профилировании. Возможности программного обеспечения позволяют создавать профили в автоматическом режиме. Сотни профилей за считанные минуты.

10) Основные преимущества топографической съемки при помощи сканера – это скорость, точность, подробность, расширенный функционал использования, возможность интеграции данных с 3D САПР и ГИС.

11) Намного более точные и подробные данные при топографической съемке территорий с высокой степенью застройки, по сравнению с классическими способами.

12) При помощи лазерного сканера можно создать точную трехмерную модель карьера за считанные минуты. Сверхбыстрая интерпретация данных: 1 км x 900м открытый карьер можно отсканировать за 3 часа. Регистрация, фильтрация и моделирование за 20 минут. Горизонталы создаются за несколько секунд. Сечения тут же создаются по построенной модели. Можно узнать сразу же высотные отметки. Рассчитать объемы извлеченных масс и др.

3.3. Разработка рекомендаций по применению наземных лазерных сканеров

Рекомендации по применению наземных лазерных сканеров в Узбекистане:

1) Способность предоставлять быстрые, точные, детальные данные в 3D зарекомендовало использовать лазерное сканирование в архитектуре: реконструкции, модернизации, а также для нового строительства.

2) Возможность получать полные скоординированные данные в перегруженных, ограниченных и порой опасных условиях утвердила её широкое применение в различных отраслях промышленности.

3) Мониторинг – это ключ к функционированию места проведения работ, для обеспечения безопасности, для отслеживания движения ресурсов и для осмысления продвижения строительства. Применение его на этапе строительства особенно остро подходит для полевого контроля, для исполнительной съёмки, оценки состояния, обнаружения столкновения коллизий, до конца непрерывного

движения или мониторинга земляных работ. Данные 3D сканирования также могут использоваться для создания высокоточной записи физических данных завершённого строительства, либо работы в процессе, они могут пригодиться в ходе работы или для судебной тяжбы. В дополнении, предоставляя ценность на этапе строительства, 3D сканирование можно использовать для оценки мест природных катастроф, дорожных аварий и мест преступлений

4) При съемке кренов и отклонений, на основании которой можно составлять наглядные графики сразу в 3D проектировании.

5) При измерения объемов вне зависимости от формы и размеров объекта. Неровности геометрии зданий точно отображаются на трехмерных сканах.

6) Перепроектирование и дизайн. 2D чертежи по трехмерным моделям и облакам точек. Анализ коллизий.

7) При контроле качества выполненных строительных работ: исполнительная съемка; сравнение проектной модели с отстроенным объектом; контроль прокладки коммуникаций; авторский надзор.

8) Детальная 3D модель фасадных барельефов архитектурных сооружений может быть использована в целях проектирования и реконструкции, а также для создания копий или восстановления барельефа посредством 3D печати.

9) Данные сканирования можно использовать для создания топографических планов любого масштаба.

10) При расчете объемов земляных работ.

11) При профилировании.

12) В дорожном строительстве.

13) В дорожном строительстве объектов повышенной сложности.

14) При определении метрических параметров и габаритов объектов железнодорожной инфраструктуры.

15) В горном деле.

16) При создании вертикальной планировки. После полевых работ, когда собраны данные по отсканированному участку, т.е. съемка местности в выбранной системе координат и высотными отметками, создается существующий

рельеф, вся модель местности со всеми визуально-наглядными возвышенностями и пониженными местами, дорогами, существующими постройками и др.. Изучив модель местности, инженер-проектировщик создает вертикальную планировку территории, выводя горизонтали в 2D и 3D программе. Тут же в 3D визуально можно увидеть, как будет выглядеть проектируемый рельеф, ландшафт. В специальной программе создается видеопроект, в котором будет показана уже готовая, спроектированная модель местности, где наглядно можно видеть, как будет стекать вода по участку, в какую точку, не будет ли застоя воды на участке. После можно будет дополнить или исправить детали проекта. Не нужно будет гадать, будет ли точно уходить вода с участка, верна ли спроектированная планировка. Нужно ли делать насыпи или выемки, прокладывать дополнительные лотки, трубы, колодцы, подпорные стенки и откосы.

3.4. Выводы

Использование наземных лазерных сканеров в Узбекистане даёт возможность предоставлять быстрые, точные, детальные данные в 3D, что даёт широкие возможности использования лазерного сканирования в архитектуре, реконструкции, модернизации, а также для нового строительства. Помимо этого, лазерное сканирование даёт возможность получать полные скоординированные данные в перегруженных, ограниченных и порой опасных условиях.

Применение лазерных сканеров при проведении мониторинга способствует функционированию места проведения работ, обеспечению безопасности, отслеживания движения ресурсов и для осмысления продвижения строительства. Применение его на этапе строительства особенно остро подходит для полевого контроля, для исполнительной съёмки, оценки состояния, обнаружения столкновения коллизий, до конца непрерывного движения или мониторинга земляных работ. Данные 3D сканирования также могут использоваться для создания высокоточной записи физических данных завершённого строительства, либо работы в процессе, они могут пригодиться в ходе работы или для судебной тяжбы. В дополнении, предоставляя ценность на

этапе строительства, 3D сканирование можно использовать для оценки мест природных катастроф, дорожных аварий и мест преступлений.

Также лазерное сканирование даёт великолепные результаты при съёмке кренов и отклонений, при измерении объёмов вне зависимости от формы и размеров объекта, перепроектировании и дизайне. Помогает при контроле качества выполненных строительных работ, таких как исполнительная съёмка, сравнение проектной модели с отстроенным объектом, контроль прокладки коммуникаций, авторский надзор.

Детальная 3D модель фасадных барельефов архитектурных сооружений может быть использована в целях проектирования и реконструкции, а также для создания копий или восстановления барельефа посредством 3D печати.

Данные сканирования можно использовать для создания топографических планов любого масштаба.

В горном деле лазерное сканирование даёт результаты с такой скоростью и точностью, которые нельзя получить другими типами приборов.

Заключение

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 жилищного строительства др. 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.

Исходя из опыта применения наземных лазерных сканирующих систем для решения прикладных задач в различных областях народного хозяйства (топография, маркшейдерия, геология, архитектура, строительство, судостроение, археология, медицина и др.), можно смело говорить об уверенном внедрении данной технологии в повседневную практику. Концепция полной автоматизации при сборе пространственных данных об объектах местности средствами лазерной локации позволяет решить две основные проблемы любого производства:

- 1) увеличить производительность работ;
- 2) повысить качество и надежность получаемой продукции.

Из проведенного анализа видно, что применение лазерного сканирования эффективно при решении различных геодезических задач.

Разработан ряд рекомендаций применения наземного лазерного сканирования.

Все это позволяет говорить о том, что в ближайшее время технология наземного лазерного сканирования займет ведущее положение в области полевого сбора метрической информации с целью трехмерного моделирования объектов и территорий.

Литература

1. Доклад главы государства на заседании правительства Узбекистана по итогам 2013 года.
2. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2014 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2015 год.
3. Министерство экономики Республики Узбекистан «Жилищное хозяйство Узбекистана» 2014год.
4. Постановление Президента Республики Узбекистан «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах» от 15 декабря 2010 года, №1442.
5. ГОСТ 8.570-2000 Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки. – Введен 01.01.2002.– Минск, 2000.
6. Авакян В.В. «Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ». 2012г.
7. Авакян В.В. «Прикладная геодезия: Геодезическое обеспечение строительного производства». М.: Вузовская книга, 2013г.
8. Григорий Федотов «Инженерная геодезия» 2009г.
9. Данилов В.В., Кожевников Н.П., Хренов Л.С., Кононов Н.С. «Геодезия» Москва : Недра 1975-1976гг.
10. Дементьев В.Е. «Современная геодезическая техника и ее применение». - Тверь, ООО ИПП "АЛЕН", 2006.
11. Идиатулина Р.Э. Статья «Использование современных технологий при решении инженерно-геодезических задач».
12. Идиатулина Р.Э. Статья «Применение трехмерного лазерного сканирования при решении инженерно-геодезических задач».
13. Клиентское руководство по 3D сканированию и сбору данных.

14. 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 международного научного конгресса. «ГЕО-Сибирь-2006», 24-28 апр. 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 150-153.
15. 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. конгресса «ГеоСибирь-2005», 25-29 апр., 2005 г., г. Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 225-228.
16. Комиссаров Д.В. «Использование технологии трехмерного лазерного сканирования при строительстве, эксплуатации и проектировании инженерных сооружений»/ Д.В. Комиссаров, А.В. Середович// Строительство и городское хозяйство Сибири. – 2004. – №10. – С. 72-73.
17. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. «Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ». - М., Недра, 1981г.
18. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. «Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений». Под ред. Г.П. Левчука. Учебник для вузов. М., Недра, 1983г.
19. Михеечев, В.С. Геодезические светодальномеры [Текст] / В.С. Михеечев. – М.: Недра, 1979. – 222 с.
20. Подшивалов В.П., Нестеренок М.С., «Инженерной геодезии»: Минск 2011г.
21. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. «Наземное лазерное сканирование» - Новосибирск: СГГА, 2009г.
22. Соколов, А. М. Основные понятия архитектурного проектирования/ А.М. Соколов. –Л.: ЛГУ, 1976г.-192с.

23. Источник:<http://zemlemermaster.ru/service/geodezicheskoe-soprovozhdenie-stroitelstva>
24. <http://www.drillings.ru/cifr-nivelir>
25. http://www.ngce.ru/pg_publications11.html
26. <http://print3d.ru/index.php/zakaz-prototipa/zakaz-skanirovaniya/lazernaya-tehnologiya.html>
27. https://ru.wikipedia.org/wiki/Наземное_лазерное_сканирование
28. http://www.hexagonmetrology.ru/_390.htm#.VVSHp0jq7sE
29. http://art-geo.ru/catalog/terrestrial/detail.php_SECTION_ID=78&ELEMENT_ID=2183
30. http://www.geometer-center.ru/geodezicheskoe-oborudovanie/catalog/HDS_Systems/p20
31. <http://www.riegl.ru/Produktsiya/>
32. <http://www.sibgeomap.com/technology/nivscan>
33. www.leica-geosystems.com/hds