

На правах рукописи

МАСЛАКОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ  
ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2009

Работа выполнена на кафедре Вычислительной техники и автоматизированной обработки аэрокосмической информации Московского государственного университета геодезии и картографии

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Журкин И. Г.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Троицкий В.И.**

кандидат технических наук,

**Баклыков М.А.**

Ведущая организация: Сибирская Государственная  
Геодезическая Академия (СГГА)

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва К-64, Гороховский пер. д. 4, МИИГАиК, Зал заседаний учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Климков Ю.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Лазерное сканирование, появившись на российском рынке около 10 лет назад, постепенно находит применение при решении всё большего круга задач. Это – оперативный контроль строительства инженерных сооружений и мониторинг их состояния при эксплуатации, создание или восстановление чертежей, 3D-моделирование сложных архитектурных объектов. Всё это может быть использовано для создания трёхмерного информационного наполнения геоинформационных систем.

На основе данных лазерного сканирования могут строиться чертежи зданий и сооружений, горизонталь рельефа местности, цифровые TIN- и GRID-модели рельефа местности, полигональные 3D-модели антропогенных объектов. Причём к настоящему времени, несмотря на ведущиеся успешные исследования в данных областях, как в России, так и за рубежом, не разработано универсальных, эффективных технологий, позволяющих решать эти задачи в автоматическом режиме и с высокой степенью надёжности. К одной из таких технологий относится и векторизация данных лазерной локации. При этом часто обработке подлежит участок местности с большим количеством объектов или объект с большим количеством деталей, что сильно усложняет процесс векторизации объектов. Причём в некоторых участках плотность сканирования может являться явно избыточной, а в других – явно недостаточной. Поэтому для создания выходных материалов могут быть использованы и дополнительные данные, например, получаемые с чертежей и планов, фотографии, данные тахеометрической съёмки, космических изображений или иные трудноструктурируемые материалы.

В итоге, обработку данных лазерного сканирования продолжают осуществлять в полуавтоматическом режиме, причём с использованием сразу нескольких программных пакетов, каждый из которых может иметь высокую коммерческую стоимость. В частности, для построения полигональных моделей в геоинформационных системах требуется, чтобы ПО имело возможность работать с большим количеством точек лазерной локации

(ТЛЛ), осуществлять их взаимную привязку в единую координатную систему, а также иметь удобный интерфейс и возможности расширения функциональности, позволяющие сэкономить время работы над проектами за счёт адаптации ПО под каждую конкретную задачу, причём создание трёхмерных полигональных моделей должно удовлетворять следующим критериям:

- точности определения пространственного положения объектов съёмки;
- высокой степени дешифрируемости объектов съёмки конечным пользователем;
- поддержке распространённых форматов передачи пространственных данных.

Кроме того, немаловажным фактором является возможность освоения данного прикладного ПО за ограниченное время и возможность оперативной интеграции получаемых моделей в распространённые ГИС, поддерживающие 3D-данные. В частности, важно наличие поддержки основных форматов экспорта данных и возможности создания программных модулей для экспорта в непредусмотренные изначально форматы.

Отсутствие готового программного решения, удовлетворяющего всем вышеперечисленным требованиям, и вызывает необходимость разработки технологии, обеспечивающей наиболее полное решение поставленных задач.

Данная диссертационная работа посвящена разработке технологии построения полигональных 3D-моделей для ГИС по данным ЛЛ, с учётом всё возрастающих требований ГИС к их качеству, точности, стоимости и срокам создания.

**Цель и задачи.** Разработка технологии построения трёхмерных моделей для геоинформационных систем по данным лазерной локации.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Организация программной среды, позволяющей работать как с данными лазерной локации, так и со сложными полигональными моделями.

2. Разработка технологии импорта и экспорта данных в заданную программную среду с сохранением всей необходимой информации.

3. Обеспечение возможности обработки полученной информации с учётом её специфики (сравнительно большие объёмы данных, необходимость редактирования массива точек по различным алгоритмам, наличие широких возможностей полигонального моделирования и текстурирования объектов).

**Научная новизна** выполненной работы:

1) Предложена новая методика, позволяющая работать с данными ЛЛ в специализированном программном пакете для 3D-моделирования – Autodesk 3ds Max;

2) Модернизированы методы построения полигональных 3D моделей по данным наземного лазерного сканирования в среде для 3D-моделирования Autodesk 3ds Max;

3) Предложены новые алгоритмы для чтения и записи пространственных данных в ПО при 3D-моделировании с сохранением фотометрических характеристик изображений, полученных при ЛЛ;

4) Предложена методика обработки данных ЛЛ, позволяющая повысить эффективность процесса 3D-моделирования за счёт повышения его производительности и учёта визуальных особенностей исходного объекта съёмки.

**Практическое значение работы.**

Разработанная технология позволяет оптимизировать и уменьшить стоимость процесса векторизации и интеграции в ГИС данных наземного лазерного сканирования. Разработаны алгоритмы передачи точек лазерного сканирования между различными программными пакетами, их прореживания и дальнейшей обработки. Разработаны алгоритмы импорта 3D-моделей в различные ГИС, а также экспорта их из ГИС для обновления.

Разработанный набор программных сценариев для пакета 3D-моделирования 3ds Max позволяет организовать универсальную среду 3D-

моделирования, полноценно использующую в процессе работы данные лазерного сканирования.

Защищаемая методика, алгоритмы и сопутствующее программное обеспечение внедрены в практическое использование на кафедре ВТиАОАИ Московского Государственного Университета Геодезии и Картографии (МИИГАиК), также использовались при выполнении проектов по обработке данных ЛЛ ЗАО НПП «Навгеоком».

#### **Апробирование работы.**

Результаты работы докладывались на международном промышленном форуме “GEOFORM+” в 2005 и в 2006 годах; на научном конгрессе «ГЕО-Сибирь» (направление «Геодезия, картография, маркшейдерия») в 2006г. в Новосибирске; на конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых в МИИГАиК в 2008 г.; на всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2005» и «НТТМ-2006» в Москве.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 3 работы, две из которых в журнале, включенном в перечень ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация написана на русском языке, включает 102 страницы текста, содержит 30 рисунков, 2 таблицы; состоит из введения, четырёх разделов, заключения, 1 приложения и библиографии из 37 наименований, в том числе 17 зарубежных.

#### **Содержание работы.**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, отмечена научная новизна работы.

**В первой главе** рассматриваются возможность и особенности применения наземного лазерного сканирования для создания различных типов компьютерных трёхмерных моделей местности и моделей зданий и сооружений. Для этого приводятся области использования основных систем наземного лазерного сканирования, применяющихся в настоящее время, принципы проведения лазерно-локационных измерений. Также

рассматриваются форматы хранения и передачи данных ЛЛ и трёхмерных полигональных моделей, особенности работы с ними, типы хранимых данных. Приведены основные методы построения 3D-моделей, а также обзор основных программных средств для построения 3D-моделей и обработки данных ЛЛ.

В работе приводится следующая **классификация полигональных трёхмерных моделей, подходящих для применения в ГИС**, по типам использующих их приложений.

1) Для нужд геоинформационных систем используются модели в виде триангуляционных сетей mesh-типа. Применяемые к ним требования следующие:

- малый объём памяти, что особенно важно для получающих всё большее распространение сетевых геоинформационных систем;
- назначение моделям текстур – растровых изображений, служащих для закраски (shading) объекта – с описанием метода проецирования;
- возможность удобного добавления атрибутивной информации.

В ГИС также используются цифровые модели рельефа (ЦМР), для получения которых лазерное сканирование оправдывает себя как на небольших участках в несколько гектар (наземное сканирование технологических узлов предприятия с учётом особенностей рельефа), так и на более крупных территориях (воздушное сканирование рельефа). Рельеф может задаваться не только в виде нерегулярных триангуляционных сетей (TIN), но и как регулярные (Grid) 2,5D-модели, формируемые на основе растрового изображения.

2) Для САПР требуется не просто высокоточные трёхмерные модели. В ряде случаев они должны быть представлены как твердотельные объекты, что предоставляет ряд дополнительных возможностей для работы с ними. Это, например, удобство мониторинга и прогнозирования деформаций, удобное получение сечений и разрезов, расчет масс и объёмов, определение нагрузок на фундамент и многое другое. Именно благодаря высокой

точности и возможности проведения сплошной съёмки лазерное сканирование используется для моделирования, что потом задействуется в САПР, особенно на сложных технологических узлах предприятий: эстакадах, участках с большим количеством трубопроводов, располагающихся на поверхности земли в несколько ярусов. В таких случаях трёхмерные модели являются более удобными в использовании, чем традиционные плоские чертежи.

Требования САПР, касающиеся записи трёхмерных пространственных данных в твердотельном формате, необходимо принимать в расчёт при работе над некоторыми проектами, относящимися к области ГИС, в связи с особенностями технологических цепочек ПО, используемого на предприятиях. Как правило, это связано с контролем топологической корректности моделей, а также с задачей экспорта-импорта данных между различными приложениями.

3) В заключение можно упомянуть высокополигональные модели. Часто это модели памятников и сложных сооружений, имеющих культурное значение, создаваемые в рамках проектов по сохранению культурного наследия. Данный тип моделей выделяется в отдельную группу, так как не всегда требует сохранения твердотельного формата записи моделей, необходимого для САПР, но при этом является намного более детализированным, чем модели, обычно используемые в ГИС. Для удешевления процесса создания высокополигональных моделей технология ЛЛ является востребованной за счёт возможности проведения съёмки с повышенной детализацией.

**Представление данных ЛЛ в цифровой форме** является не менее важным процессом, чем непосредственно сканирование. Правильный выбор цифрового формата хранения данных позволяет не только сократить объём занимаемой области памяти (как оперативной, так и постоянной), но и часто обуславливает выбор ПО для обработки данных ЛЛ. Если в базовом варианте



обработки, предлагаемом производителем любого отдельно взятого наземного лазерного сканера, уже предоставляется некая технологическая цепочка используемого ПО и форматов передачи и хранения данных, то при расширении функциональности изначально предлагаемой методики пользователь неизбежно сталкивается со множеством технологических ограничений, а также незначительных на первый взгляд особенностей форматов, которые в дальнейшем могут приводить к существенному пересмотру процесса обработки пространственной информации.

Поэтому автором был проведён анализ форматов хранения и передачи трёхмерных полигональных моделей и данных ЛЛ. В работе приведены характеристики и особенности использования форматов, отобранных для использования в работе, в частности:

1) Данные ЛЛ в виде точек или триангуляционных сетей:

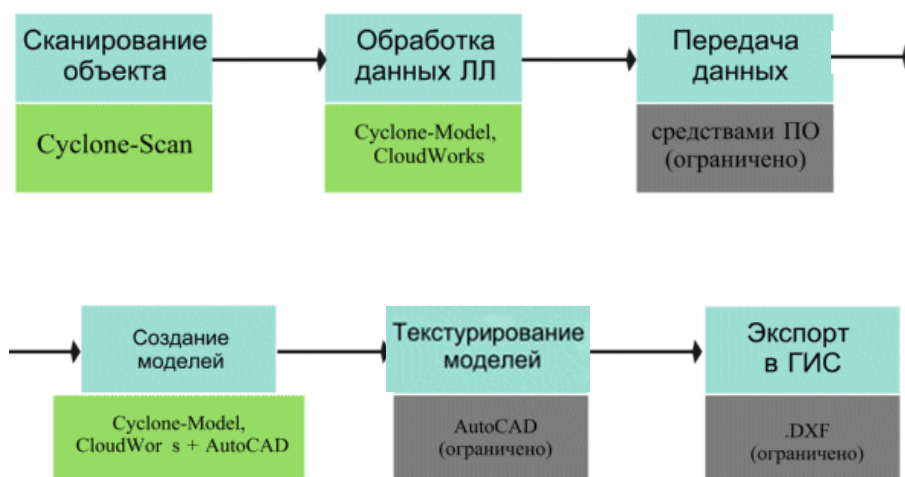
\*.IMP, \*.MSH, \*.PTS, \*.RWP, \*.TXT, \*.ASC и другие ASCII (текстовые) форматы;

2) 3D-модели:

- \*.MAX, \*.3DS, \*.OBJ, \*.WRL (VRML), \*.DWG, \*.DXF, \*.SAT, \*.KML (\*.KMZ), \*.SKP.

**Выбор программной платформы.** Создание 3D-моделей для ГИС в ПО для обработки данных ЛЛ, а не в ПО, изначально ориентированном на моделирование, зачастую является нерациональным подходом. Сравнение этих классов ПО можно провести на примере типичных программ каждого класса: Leica Cyclone и Autodesk 3ds Max. При создании полигональных моделей высокой и средней сложности Cyclone часто проигрывает 3ds Max в точности моделирования из-за сложности редактирования в Cyclone моделей, выходящих за рамки предоставленных программой примитивов. Данный факт определяет выбор ПО для создания и редактирования 3D-моделей в сторону пакетов, изначально ориентированных на это.

Рассмотрим один из стандартных вариантов структурной схемы обработки данных ЛЛ с указанием названий используемого программного обеспечения. За основу возьмём решение на базе ПО компании Leica Geosystems (рис. 1).

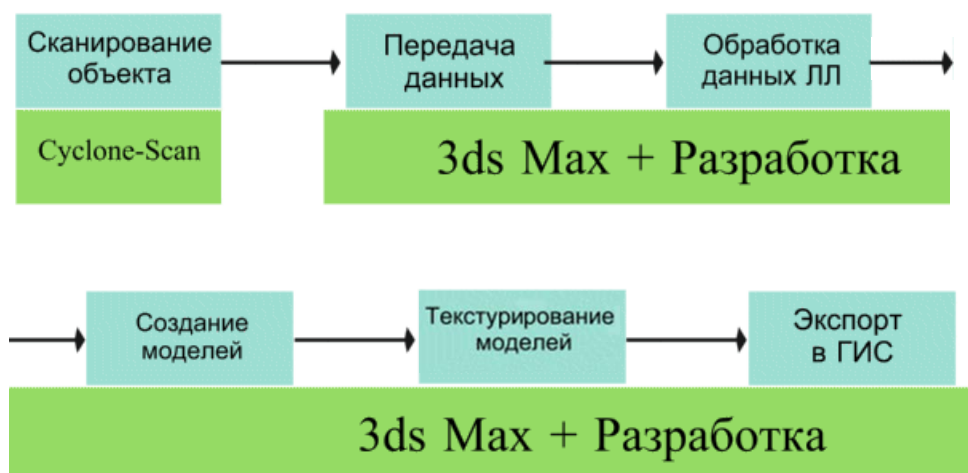


*Рис. 1 Стандартная схема обработки данных ЛЛ на основе ПО от Leica Geosystems и Autodesk*

В данной схеме для обработки используются дополнительные модули Cyclone: Cyclone Model, предназначенный для операций с точками лазерной локации и моделирования, и CloudWorx, предназначенный для передачи данных и отображения точек лазерной локации (ТЛЛ) в среде AutoCAD. При этом CloudWorx не предоставляет пользователю возможностей расширения методов обработки точек сверх реализованных в программе, так как облако точек импортируется и обрабатывается в закрытом формате. При попытке загрузить в AutoCAD точки по отдельности, скорость работы с ними резко падает, и пропадают все преимущества использования CloudWorx.

Текстурирование получаемых моделей в рассматриваемом случае является простым процессом с минимумом опций и подходит только для работы с примитивными параметрическими моделями. Экспорт моделей в ГИС возможен всего через несколько форматов: \*.DXF, \*.STL, \*.SAT, \*.DGN

и несколько других. То есть, упор сделан на САПР-форматы. В данном случае, это оказывается минусом, так как в список доступных для сохранения типов файлов не входят такие распространённые файлы как, например, \*.3DS и \*.OBJ.



*Рис. 2 Предлагаемая схема обработки данных ЛЛ на основе ПО от Leica Geosystems и Autodesk*

В разработанной автором схеме обработки данных ЛЛ и построения 3D-моделей для ГИС на их основе (рис. 2) из программ для работы с данными ЛЛ используются только модули, отвечающие непосредственно за сканирование и передачу данных. В случае использования ПО от Leica Geosystems – это Cyclone Scan. Применение из всего пакета Cyclone только программного модуля управления сканированием позволяет уменьшить финансовые затраты за счёт отказа от приобретения коммерческих лицензий на модули. Экономическая выгода технологии, предлагаемой автором, становится более очевидной, если сравнить стоимость полных лицензий на ПО Leica Cyclone и Autodesk 3ds Max. Их стоимость составляет около 20000\$ и 4000\$ соответственно (осень 2008г.).

Предлагаемая схема обработки данных ЛЛ помимо упомянутого снижения стоимости работ позволяет ускорить моделирование за счёт более совершенного и настраиваемого инструментария, а также добиться более точного соответствия построенных моделей реальным объектам за счёт меньшей генерализации и более подробной проработки.

Предлагаемая схема, по сравнению со стандартной, предоставляет большее количество вариантов экспорта данных, адаптируя их непосредственно для применения в ГИС.

В качестве **основы для разработки** был выбран продукт Autodesk 3ds Max – универсальный программный пакет с широкими возможностями построения 3D моделей. От программ аналогичного класса данный пакет отличает большое количество русскоязычных учебных материалов, созданных сформировавшимся сообществом специалистов. Критически важной для поставленной задачи возможностью данной программы, не являющейся при этом уникальной только для неё, является встроенный язык написания программных сценариев (скриптов) – MaxScript.

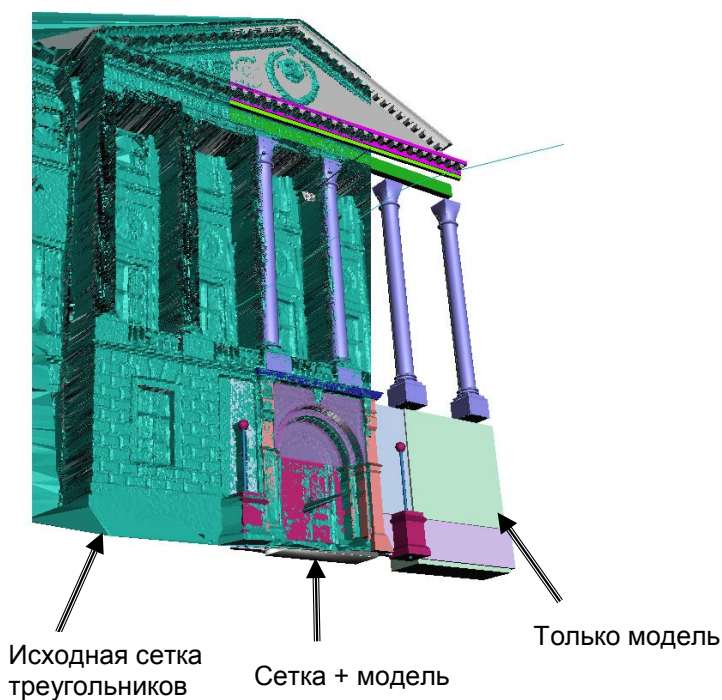
Именно за счёт возможностей MaxScript автором и предлагается, на основе расширяемого пакета для 3D-моделирования, создать универсальный инструмент, позволяющий решать сложные задачи в области создания 3D-моделей по данным НЛЛ.

**Во второй главе** рассматривается первый этап работы с данными ЛЛ – **выбор формата представления данных ЛЛ в программной среде и загрузка массива точек в память**. Для этого необходимо наличие в ПО алгоритма чтения используемого формата данных, и реализация метода представления их в памяти в требуемом виде. Существует всего несколько возможных способов представления в 3ds Max данных лазерной локации, в то время как количество возможных форматов записи трёхмерных пространственных данных превышает сотню. В работе рассмотрены

достоинства и недостатки различных способов работы с данными НЛЛ в среде 3ds Max.

По результатам обзора, автором созданы несколько программ, реализующих загрузку в среду 3ds Max данных ЛЛ из ряда стандартных ASCII-файлов. Автором преодолены ограничения, связанные с импортом яркостной составляющей точек. Возможно даже задание одной вершине несколько цветов, разделение их по цветовым каналам. Использование в работе информации о яркости отражённого сигнала (или цветовой информации, полученной по данным цифровой съёмки объекта) позволяет повысить скорость моделирования, причём для отдельных проектов экономия времени достигает 20-30%. Также автором преодолены ограничения, связанные с отсутствием простой возможности импорта только точек без триангуляционной сети, и проведён анализ методов хранения точек в памяти программы и отображения на экране.

Упомянутые сценарии интегрированы автором в интерфейс 3ds Max и являются частью комплексного программного решения для работы с данными НЛЛ в среде 3ds Max. Представленное решение расширяет область применения этого программного пакета для точностного моделирования по данным НЛЛ, что уже нашло своё применение при выполнении целого ряда проектов.



*Рис. 3 Процесс построения модели здания по триангуляционной сети, полученной по облаку точек*

**Примечание [w1]:** Нигде нет ссылки на рис. 3

В третьей главе рассматриваются возможности разрабатываемой программной среды непосредственно создавать модели по облаку точек (рис. 3) – **осуществлять векторизацию данных НЛЛ**. Несмотря на то, что 3ds Max обладает большими возможностями для моделирования, необходимо дать описание возможностей добавления программного инструментария для работы со специфичными данными, которые представляют собой массивы точек лазерной локации. Для этого на MaxScript автором реализованы наиболее типичные алгоритмы разного уровня сложности для работы с массивом точек.

1) Выбор точек по различным алгоритмам и создания на их основе отдельных массивов точек.

В работе в качестве примера приводится базовый алгоритм фильтрации точек. Его дальнейшие несложные модификации позволяют реализовывать в

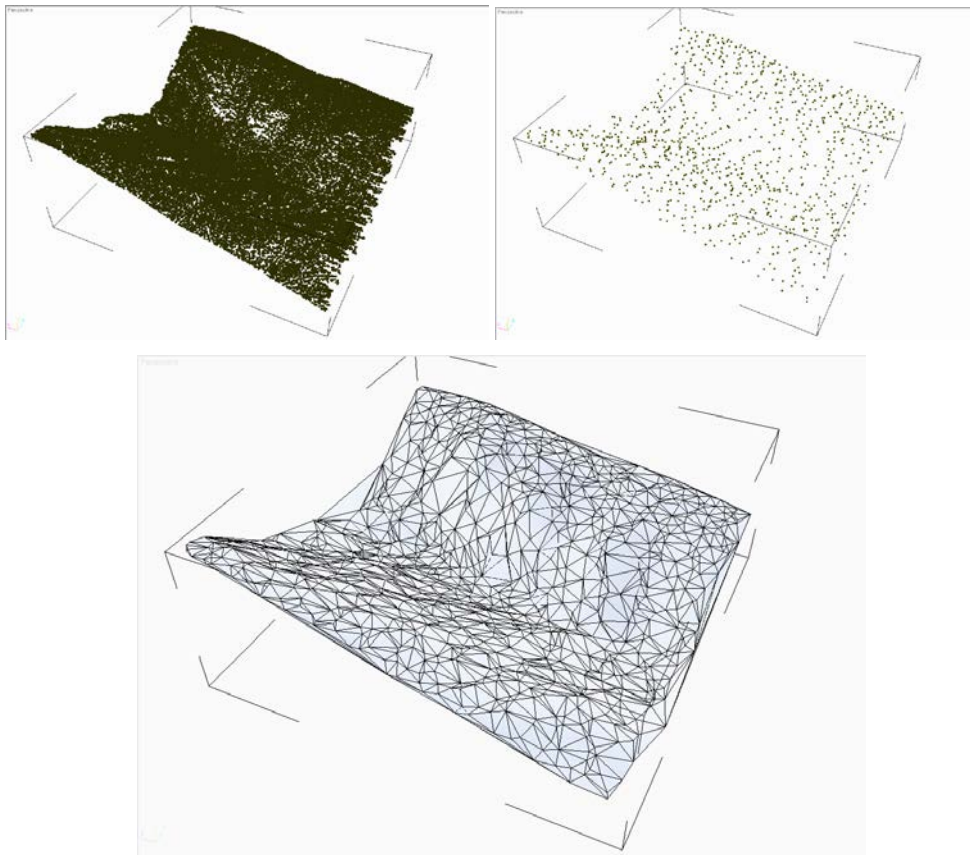
среде 3ds Max такие классические алгоритмы для программ обработки данных НЛЛ как следующие:

- выбор точек с интенсивностью отраженного сигнала темнее/светлее, чем заданное пороговое значение;
- прореживание облака точек с заданной пространственной плотностью;
- сплошное прореживание облака точек с заданным коэффициентом прореживания;
- другие операции.

2) Триангуляция массива точек. Технология создания горизонталей рельефа местности по триангуляционным моделям.

Следующей обязательной для реализации операцией над облаком точек является построение триангуляционной сети. Это важная ступень проверки встроенного языка написания сценариев на соответствие поставленным задачам. Как один из методов построения триангуляционной сети рассмотрим построение триангуляции Делоне.

Автором был написан средствами MaxScript тестовый алгоритм двумерной триангуляции Делоне – триангуляции, удовлетворяющей условию, что описанная вокруг каждого треугольника окружность будет свободна от заданных точек триангуляции (рис. 4). При этом получаемые треугольники будут стремиться к равноугольности.

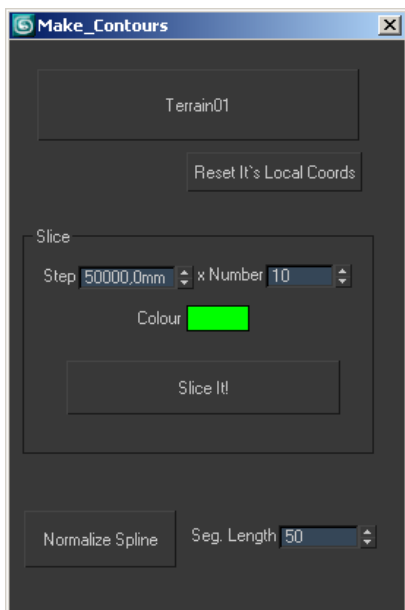


*Рис. 4 Прореживание тестового облака точек с последующим построением триангуляционной сети*

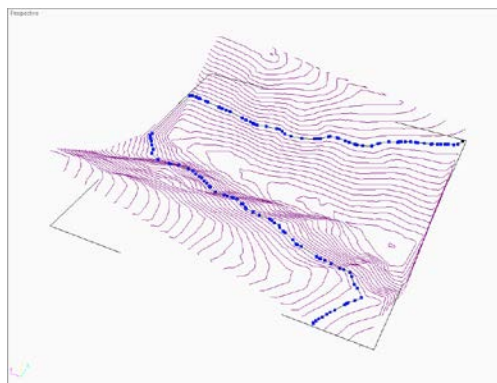
На основе построенной триангуляционной сети уже могут быть созданы горизонтали рельефа местности. Для этого автором был создан ещё один скрипт, результаты работы которого на тестовом участке представлены ниже, на рис. 5 и 6. Помимо основных операторов для работы вершинами сплайнов, MaxScript содержит операторы, облегчающие решение поставленных задач, например функцию, автоматически расставляющую вершины сплайна на заданном интервале. Эта функция также была использована в программе.

**Примечание [w2]:** Скрипт или сценарий?



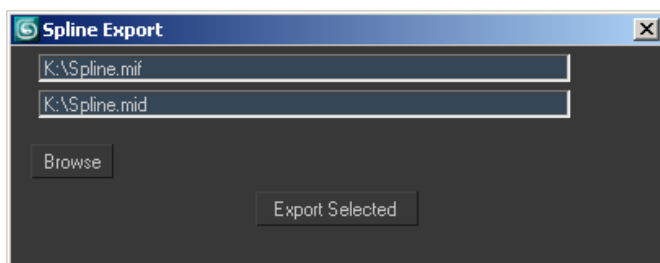


*Рис. 5 Интерфейс программы построения горизонталей*

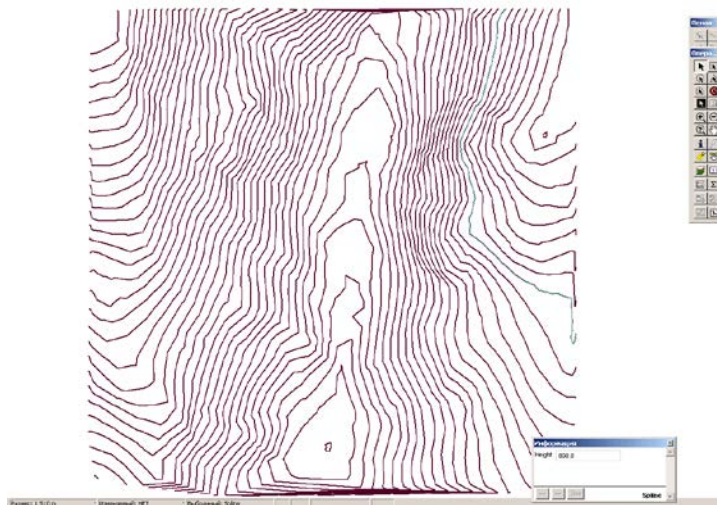


*Рис. 6 Результат работы программы построения горизонталей*

Несмотря на то, что предлагаемое решение задачи построения горизонталей по данным ЛЛ является, строго говоря, далеко не первым, достоинство решения, предлагаемого автором, состоит в создании единой программной среды оперирующей как с данными ЛЛ, так и с 3D-моделями и сплайнами. Подробно экспорт трёхмерных моделей в ГИС рассматривается далее, здесь же следует упомянуть о реализации возможности экспорта получаемых сплайнов в ГИС “MapInfo”. Интерфейс соответствующей программы и результаты её работы показаны на рисунках 7 и 8.



*Рис. 7 Интерфейс программы построения горизонталей*



*Рис. 8 Результаты экспорта горизонталей в ГИС “Map Info”*

Также в работе приводится алгоритм расчёта площади участка местности.

3) Технология автоматизированной корректировки топологической структуры триангуляционных моделей с проверкой их пространственного положения.

При выполнении обработки данных НЛЛ встречаются случаи, когда возможностей одной программы оказывается недостаточно для успешного выполнения работ. Поэтому нередко применяют технологическую цепочку программ, дополняющих друг друга на различных этапах работ. Однако, в связи с тем, что лазерное сканирование является достаточно молодой технологией, и методы обработки получаемых данных продолжают совершенствоваться, в ряде случаев может возникнуть необходимость автоматизированной обработки моделей, которую не позволяет провести ПО, выбранное для моделирования изначально. Таким образом, появляются задачи, для решения которых требуется последовательное применение к создаваемым триангуляционным моделям некоего фиксированного набора специфических операций:

- топологических модификаций;
- автоматизированное наложение текстуры на объект по заданному типу проецирования;
- проверки модели на соответствие неким условиям;
- проверка взаимного пространственного положения;
- расчёт геометрических характеристик объектов с записью результатов в базу данных;
- другие операции.

Автором предлагается технология обработки моделей технологических объектов, созданных в программной среде Trimble RealWorks Survey (RWS), включающая в себя автоматизированную корректировку топологической структуры триангуляционных моделей, проверку моделей на дубликаты по пространственному положению, а также осуществление конвертирования указанных моделей в твердотельный формат, пригодный для импорта в AutoCAD и Microstation.

Приведенный алгоритм позволяет автоматически исправлять топологию объектов класса Cylinder в ПО Trimble RealWorks Station. При возникновении на этапе экспорта моделей других похожих ошибок, возможна простая модификация алгоритма и под исправление других ошибок. Полученные модели уже могут быть экспортированы в ГИС-системы. Также автором реализована проверка на ещё один тип часто встречающихся ошибок – дубликаты моделей.

**В заключительной, четвёртой, главе** приведено описание экспорта полученных моделей в различные ГИС, поддерживающие работу с трёхмерными триангуляционными моделями. В ней рассматривается обмен 3D-моделями с геоинформационными системами. Причём, важной деталью является именно двусторонний обмен моделями, а не просто односторонний экспорт, так как одним из фундаментальных свойств пространственной

информации, описывающей реальные объекты местности, является её постоянное устаревание с необходимостью периодического обновления.

Глава содержит подробные описания процесса экспорта 3D-моделей в ГИС Google Earth через формат \*.3DS, используя для дальнейшей передачи программу Google SketchUp и в ГИС ESRI ArcInfo как точечный объект, визуализируемый в виде объекта 3D Marker Symbol.

Примечание [w3]: Или описания?

Также в данной главе приведены ограничения формата \*.3DS на технологии описания полигональных сетей, применимые и в более общих случаях работы с переносом данных между ПО по созданию и обработке 3D-моделей.

Ввиду необходимости периодического обновления геоинформационных систем требуется иметь возможность обратной загрузки 3D-моделей для последующего редактирования. Это часто требуется для обновления, так как в этом случае часто нужно не создавать модели «с нуля», а только исправить или дополнить существующие модели рельефа, зданий, сооружений и тому подобные.

Автором приведена реализация обратного импорта моделей из рассмотренных ГИС (Google Earth и ESRI ArcInfo) в системы 3D-моделирования с целью обновления и использования в качестве вспомогательных материалов для дальнейшего развития ГИС. Также приведены выводы по решению задачи обратного импорта моделей для других ГИС.

### **Заключение**

По результатам выполненных исследований в диссертации решены следующие основные задачи:

1. Организована программная среда, позволяющая работать как с данными лазерной локации, так и со сложными триангуляционными моделями объектов.

Задача была решена на базе расширяемой программной среды для 3D-моделирования и визуализации Autodesk 3ds Max.

2. Разработана технология импорта данных ЛЛ в предложенную программную среду Autodesk 3ds Max, позволяющая осуществлять передачу и яркостей отраженных сигналов ЛЛ. Это дало возможность повысить скорость при моделировании объектов съёмки до 20-30%.

3. Написаны программные модули, обеспечивающие возможность обработки полученной информации с учётом её специфики, в частности: программы прореживания данных ЛЛ по различным алгоритмам, программа построения триангуляционных сетей, программа построения горизонталей объектов местности и экспорта результатов в ГИС MapInfo и другие.

4. Программные модули, созданные автором в процессе разработки, нашли своё практическое применение в ряде проектов по моделированию объектов:

- архитектурная композиция «Золотые комнаты МИИГАиК»;
- станция метро «Проспект Мира» (-радиальная и переход);
- скульптурная композиция «Рабочий и Колхозница»;
- модель УКПГ (Установки Комплексной Подготовки Газа), г. Новый Уренгой.

Результаты исследования нашли свое применение, в учебном процессе на кафедре ВТиАОАИ.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Маслаков А.А., Моделирование сложных объектов на основе данных лазерной локации // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2007. – № 6. – С. 140-147.

2. Кавешников М.Б., Маслаков А.А., Герасимова Н.В., Методика нанесения горизонталей на топографические карты по материалам воздушного лазерного сканирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2009. – № 1. – С. 28-33.

3. Маслаков А.А., Расширение возможностей Autodesk 3ds Max для импорта данных лазерной локации // ВИНТИ, Москва, 2009г.; Деп. в ВИНТИ 26.02.09, N102- В 2009г.