



АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Г. Г. Шевченко¹, Д. А. Гура², Р. Є. Глазков³

ФДБОУ ВО «Кубанський державний технологічний університет»,

2, вул. Московська, м. Краснодар, Росія, 350072.

E-mail: ¹grettel@yandex.ru, ²gda-kuban@mail.ru, ³glazalmazrusya@mail.ru

Отримана 08 серпня 2016; прийнята 23 вересня 2016.

Анотація. В останні роки при виконанні різних геодезичних робіт на передній план виходять методики лазерного сканування. Особливо часто зараз стало застосовуватися наземне сканування. Однак опрацювання даних НЛС може здійснюватися в різних програмних продуктах, що може призвести користувача до деяких труднощів, пов'язаних з вибором необхідного програмного продукту. Програма повинна дозволяти ефективно управляти лазерним сканером при проведенні польових робіт, виконувати попереднє опрацювання даних, оцінку точності, побудову цифрової моделі місцевості і, що не менш важливо, повинна бути пристосована до експорту даних в програми САД і інші обмінні формати. У даній статті автори аналізують функціональні можливості найбільш популярних програмних комплексів з опрацювання даних лазерного сканування різних фірм і країн (США, Швейцарія, Канада, Японія, Німеччина, Австрія) і наводять порівняльну характеристику кожного з них.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, програмне забезпечення, хмара точок.

АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАНЫХ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Г. Г. Шевченко¹, Д. А. Гура², Р. Е. Глазков³

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,

2, ул. Московская, г. Краснодар, Россия, 350072.

E-mail: ¹grettel@yandex.ru, ²gda-kuban@mail.ru, ³glazalmazrusya@mail.ru

Получена 08 августа 2016; принята 23 сентября 2016.

Аннотация. В последние годы при выполнении различных геодезических работ на передний план выходят методики лазерного сканирования. Особенно часто сейчас стало применяться наземное сканирование. Однако обработка данных НЛС может осуществляться в разных программных продуктах, что может привести пользователя к некоторым трудностям, связанным с выбором необходимого программного продукта. Программа должна позволять эффективно управлять лазерным сканером при проведении полевых работ, выполнять предварительную обработку данных, оценку точности, построение цифровой модели местности и, что немало важно, должна быть приспособлена к экспорту данных в программы САД и другие обменные форматы. В данной статье авторы анализируют функциональные возможности наиболее популярных программных комплексов по обработке данных лазерного сканирования различных зарубежных фирм и стран (США, Швейцария, Канада, Япония, Германия, Австрия) и приводят сравнительную характеристику каждого из них.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, программное обеспечение, облако точек.

SOFTWARE ANALYSIS FOR INFORMATION PROCESSING OF SURFACE LASER SCANNING

Gittel Shevchenko¹, Dmitry Gura², Ruslan Glazkov³

Kuban State Technological University,

2, Moskovskaya Str., Krasnodar, Russia, 350072.

E-mail: ¹ grettel@yandex.ru, ² gda-kuban@mail.ru, ³ glazalmazusya@mail.ru

Received 08 August 2016; accepted 23 September 2016.

Abstract. In recent years, to perform a variety of surveying at the forefront of the technique of laser scanning. Especially often it is now used ground-based scanning. However, data processing of NLS can be implemented in different software products, which can lead user to some of the difficulties associated with selecting the appropriate software product. The program should allow you to effectively control the laser scanner during the field work, perform pre-processing of data, accuracy assessment, creation of digital terrain models and, equally important, must be adapted to the data export to CAD programs and other exchange formats. In this article, the authors analyze the functionality of the most popular software systems for data processing of laser scanning of various companies and countries (USA, Switzerland, Canada, Japan, Germany, and Austria) and give a comparative description of each of them.

Keywords: surface laser scanning, software, point cloud.

Введение

Наземное лазерное сканирование на сегодняшний день – один из самых оперативных и производительных способов получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте. Методы лазерного сканирования используют при решении различных геодезических, геологических и других задач. Так, например, при исследовании аккумулятивных берегов [14] для определения и моделирования параметров лавин [15] и других вопросов от промышленных до биомедицинских [16]. Конечно, после того, как произведены измерения, начинается процесс обработки данных. Изначально «сырые измерения» представляют собой массив точек, которые необходимо затем экспортировать в подходящий CAD-формат для дальнейшей обработки. Поэтому выбор нужного программного комплекса для обработки таких данных является актуальным и очень важным вопросом.

Основная часть

Обработка состоит из нескольких основных этапов:

- «посадка» сканов. Как правило, при съемке различных инженерно-технических сооружений, объектов архитектуры, зданий или рельефа имеются отдельные наборы данных –

облаков точек, полученные с различных точек стояния сканера. Эти данные необходимо «увязать» друг с другом. Для этого используются специальные отражающие марки, выполненные в виде цилиндров, сфер или дисков определенного размера [13]. Распознавая данные отражающие элементы на сканах, автоматически или вручную производят «посадку» сканов, то есть получают объединенные облака точек. При этом марки могут быть закоординированы стандартными средствами – при помощи тахеометра или GPS;

- трансформация сканов в проектную систему координат. Как было указано выше, лазерный сканер имеет свою собственную систему координат, жестко связанную с одним из его конструктивных элементов (обычно в центре приемо-передающей части). Все «сырые» данные, полученные в ходе сканирования, относятся к данной системе координат. Чтобы получить «сырые» данные в системе координат, используемой на объекте работ (проектной системе), необходимо выполнить трансформацию сканов, которая производится автоматически при помощи алгоритмов управляющей программы;
- создание поверхностей. Представление «облаков точек» математически описываемыми поверхностями в виде триангуляционных се-

ток. Созданные подобным образом поверхности могут быть экспортированы в любые САД и 3D-приложения. Если сканирование сопровождается цифровой фотосъемкой, то на этапе обработки можно совместить сканированное изображение объекта с его фотоизображением, придав скану реальные цвета и текстуру [8–10].

Поскольку данные лазерного сканирования представляют собой «облако точек» с набором характеристик для каждой точки, для обработки материалов сканирования и создания по первично обработанным материалам моделей объектов, используется специализированное программное обеспечение. Обработка данных наземного лазерного сканирования осуществляется при помощи комплекса специальных программ, поэтому они имеют большое значение в технологии трехмерного сканирования. Так как объем измерений составляет от нескольких десятков тысяч до нескольких сотен миллионов точек, основная нагрузка по обработке ложится именно на программное обеспечение.

В настоящее время существует несколько видов программного обеспечения. Применяемые программные комплексы зависят от используемой аппаратной части и поставляются производителем оборудования. Фирмы Trimble производства США и Inus Technology производства Японии, например, выпускают программные обеспечения, подходящие не только сканерам этих фирм, но и приборам других компаний. Фирма Callidus (Германия), выпускает программы, подходящие только сканерам Callidus [1, 11].

Тем не менее, всем программным обеспечениям, предназначенным для обработки данных наземного лазерного сканирования, предъявляются в основном одни и те же требования. Программа должна позволять эффективно управлять лазерным сканером при проведении полевых работ, выполнять предварительную обработку данных, оценку точности, построение цифровой модели местности и, что немало важно, должна быть приспособлена к экспорту данных в программы САД и другие обменные форматы.

Таким образом, в таблице 1 отображены существующие виды базового программного обеспечения для обработки данных наземного лазерного сканирования.

Для того чтобы понять, какая из существующих программ в наибольшей степени оснащена всеми необходимыми для быстрой и качественной обработки данных функциями, рассмотрим каждую из них более подробно и сравним их по общим показателям.

RiSCAN Pro. RiSCAN Pro – сопутствующее программное обеспечение для трехмерных лазерных сканирующих систем RIEGL. Данная программа ориентирована на проект, таким образом, все данные, полученные во время измерения, организуются и хранятся в рамках структуры проекта RiSCAN Pro. Эти данные включают в себя сканы, цифровые изображения, данные GPS, координаты опорных точек и точек привязки, а также все трансформационные матрицы, необходимые для преобразования данных множества сканов в общую заданную систему координат. Помимо стандартных инструментов по управлению сканером и сбором данных, программное обеспечение RiSCAN Pro имеет различные функциональные возможности и набор фильтров, позволяющие выполнять задачи по предварительной обработке данных. Эти возможности включают в себя: фильтрацию земли от растительности, создание ортофотоснимков, создание триангуляционных сеток по облакам точек, текстуризацию этих сеток, создание панорамных снимков, расчет объемов, построение сечений по триангуляционным сеткам, проведение измерений по облаку точек и другие функции.

RiSCAN Pro работает с фотокамерой довольно высокого разрешения и позволяет осуществлять калибровку, управление и трансформирование снимков.

Встроенного функционала программы может быть достаточно в ряде случаев для создания законченной цифровой модели рельефа. Также данное программное обеспечение обладает возможностями экспорта данных в обменные форматы [2].

Данное программное обеспечение имеет ряд программных модулей.

Камера-модуль. Позволяет автоматически получать цифровые изображения в комбинации с трехмерными сканерами RIEGL. Наличие данного модуля позволяет проводить калибровку камеры. Данные калибровки включают данные

Таблица 1. Базовое программное обеспечение для обработки данных наземного лазерного сканирования, представленное в России

Название	Рекомендуется для сканера
RiSCAN Pro (RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Австрия)	Для всех сканеров RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
Cyclone (Leica Geosystems, Швейцария)	HDS ScanStation, HDS6000, HDS2500, HDS3000, HDS4500, возможно импортирование данных любых систем
PolyWorks (Innovmetric, Канада)	Для любого сканера средней и большой дальности
3D-Extractor (Callidus, Германия)	Callidus
LMS Software (Callidus, Германия)	Callidus
RealWorks Survey (Trimble, США)	Для любого сканера
PointScape (Trimble, США)	Trimble GX, GS101, GS200
3Dipsos (Trimble, США)	Для любого сканера
RapidForm (Inus Technology, Япония)	Для любого сканера

по самой камере, например размеры изображения в пикселях, фокусное расстояние линз и центр снимка. Кроме того, включают информацию о положении и ориентации камеры для каждого снимка, например для наложения цвета на пиксель в 3D поверхности.

Мультистациональное уравнивание. Предназначено для минимизации расхождений между несколькими зарегистрированными положениями сканов. Данный модуль хоть и имеется в RiSCAN Pro, но на данный момент не представляет собой до конца разработанную функцию.

Ортонормирование фото. Этот модуль позволяет пользователю производить истинные ортофотоснимки по данным сканирования и фотосъемки. Дополнительно данный модуль также обеспечивает информацию о глубине и ориентации в системе координат проекта в ортофотоснимке. Эта дополнительная информация содержится в отдельном файле в документированном формате – ZOP файл, дает возможность конструировать в 3D на ортофотоснимке в САД приложениях. Этот формат задается для того, чтобы описать информацию о глубине на истинных ортофотоснимках. Истинное ортофото хранится как bitmap файл (расширение BMP), тогда как информация о глубине содержится в отдельном файле с расширением ZOP [2].

Cyclone. В комплекте со сканерами Leica Geosystems используется специально разработанное для работы с данными приборами программное обеспечение Cyclone [6,7]. Данный программный комплекс обладает множеством различных функций, позволяющих сравнительно быстро и качественно выполнять обработку данных наземного сканирования.

Cyclone, так же как и многие аналогичные программы, обеспечивает автоматизированное управление сканером во время работы. При этом существует функция выделения области сканирования, которая позволяет снимать только нужные части объекта. А значит, уменьшаются затраты времени при работе и отсутствие лишней информации делает файл данных более легким.

Cyclone позволяет не только сводить отдельные облака точек в единое геометрическое пространство по маркам и характерным связующим точкам с помощью уравнивания теодолитного хода или решения обратной геодезической засечки, но и автоматически моделировать объект по одной выделенной точке, вписывать объекты определенной конфигурации, создавать криволинейные поверхности и строить по ним сечения.

Кроме всего перечисленного, данное программное обеспечение включает в себя функцию

по автоматическому профилированию дорог, позволяет проводить проверку вновь смоделированных объектов по пересечению с облаками точек, проводить калибровку и мониторинг изменяющихся объектов. Cyclone обладает функцией распределения адресного пространства, позволяющей использовать программу на компьютерах небольшой производительности [3].

Еще одна из важных функций Cyclone – возможность передачи моделей объектов в САПР и обратно.

Все рассмотренные выше функции являются комплексом отдельных модулей, встроенных в единую программную оболочку Cyclone. Каждый модуль предназначен для решения конкретного круга задач и соответствует определенному этапу обработки данных сканирования [4].

Cyclone SCAN – модуль, предназначенный для управления сканером.

Основные функциональные возможности Cyclone SCAN:

- задание параметров сканирования (область съемки, расстояние до объекта, разрешение, фильтры данных и т. д.);
- запуск сканирования и контроль процесса в реальном времени;
- автоматическое распознавание марок;
- фильтрация данных по заданным критериям;
- съемка фотоизображений или круговой фотопанорамы (для сканирующих систем со встроенной цифровой фотокамерой);
- настройка уровней детализации;
- привязка станций при наличии геодезического обоснования;
- первичный анализ полученных данных (проведение контрольных измерений, оценка полноты съемки и т. д.);
- управление сканированием с помощью сценариев;
- экспорт данных в различных форматах.

Cyclone SCAN позволяет настроить сканер с учетом атмосферного давления и температуры. Далее устанавливается область сканирования и плотность (вертикальное и горизонтальное расстояние до соседних точек). В процессе сканирования можно сразу видеть результаты текущей съемки, а также при необходимости выполнить автоматическую процедуру сканирования визирных целей. Кроме того, сканер может самостоятельно найти и отсканировать с макси-

мальной плотностью специальные визирные цели, которые служат для определения системы координат объекта. Также их можно использовать как геодезическое обоснование при уравнивании отдельных сканов.

Cyclone REGISTER – модуль, позволяющий объединять данные сканирования, снятые с разных станций (точек стояния сканера) в единую систему координат. Это можно сделать как с использованием специальных визирных марок, отсканированных в процессе полевых работ, так и без них, используя только данные сканирования, которые являются общими для соседних станций. Кроме этого, в программе реализована возможность привязки данных сканирования к какой-либо известной системе координат [4].

Таким образом, основные функциональные возможности Cyclone REGISTER:

- автоматическая регистрация «облаков точек» по специальным маркам;
- автоматическое создание связей между марками для объединения облаков точек;
- вывод информации о точности регистрации;
- связывание облаков точек с помощью характерных общих точек, непосредственно заданных на облаках;
- импорт (экспорт) данных в различных форматах, включая пользовательские.

Cyclone MODEL – основное приложение по обработке точечных данных. Во-первых, данный модуль предназначен для решения проблем преобразования «облаков точек» в «твердые» тела моделей. С его помощью можно моделировать трубы, плоскости, криволинейные поверхности, различные металлоконструкции. Достаточно указать начальную точку построения трубы и включить функцию построения – дальше программа самостоятельно определит параметры объекта (размер, диаметр, начальную и конечную точки). При этом можно дополнительно включить функцию коррекции создаваемых объектов. Во-вторых, этот модуль предназначен для решения таких задач, как проверка размещения моделей, построенных в системах автоматизированного проектирования. С помощью функции проверки пересечений можно определить все места сопряжений готовой модели с «облаком точек». Кроме того, имеется возможность конвертирования в форматы, совместимые с САПР [4].

Основные функциональные возможности Cyclone MODEL:

- создание трехмерных моделей объектов из «облаков точек» различными методами с использованием трехмерных графических примитивов;
- визуализация объектов и манипуляция «облаками точек» и моделями;
- обработка «облаков точек» с помощью разнообразных инструментов с целью выделения необходимой информации;
- создание продольных и поперечных разрезов;
- выполнение измерений на облаках точек и моделях объектов;
- импорт (экспорт) данных в различных форматах, включая пользовательские.

Cyclone SURVEY – упрощенная система обработки облаков точек. *Cyclone SURVEY* – это уменьшенный набор функций *Cyclone MODEL*, предназначенный для топографических задач.

Cyclone SURVEY – модуль, состоящий из инструментов, необходимых геодезистам для создания документации, представляемой как результат стандартной топографической съемки:

- инструмент *Virtual Surveyor* для создания виртуальных пикетов;
- отрисовка горизонталей, профилей и сечений;
- создание триангуляционных (TIN) моделей;
- расчет площадей поверхностей и объемов;
- создание ортофотоизображений.

Cyclone SERVER – позволяет организовывать обработку данных, используя технологию «Клиент – Сервер». *Cyclone SERVER* повышает производительность труда и уменьшает временные затраты, когда необходимо обрабатывать большие и сложные проекты.

Основные функциональные возможности *Cyclone SERVER*:

- обеспечивает совместный одновременный доступ пользователей рабочей группы к облакам точек, встроенным изображениям и геометрическим моделям;
- предоставляет возможность совместной работы на больших, сложных проектах;
- может значительно снизить время выполнения работ;
- поддержка облаков точек и моделей больших объемов;
- устранение избыточности данных [4].

Cyclone CloudWorx и *Bentley CloudWorx* – предназначен для ввода и обработки «облаков точек» непосредственно в CAD-программах. С помощью этого модуля можно либо экспортировать в эти программы точки и модели, созданные в *MODEL*, либо открывать непосредственно сами базы данных отснятых точек. С помощью *CloudWorx* для *AutoCAD* можно моделировать из «облака точек» различные поверхности, так же как и в *MODEL*.

Основные функциональные возможности *Cyclone CloudWorx*:

- обработка облаков точек напрямую в CAD-приложениях: *Autodesk AutoCAD*, *Bentley MicroStation*, *Aveva PDMS*, *Intergraph SmartPLANT*;
- создание трехмерных моделей, чертежей;
- эффективная динамическая загрузка данных;
- визуализация облаков точек.

Cyclone CloudWorx может существовать как часть программного обеспечения *Cyclone*, так и быть отдельным программным комплексом, предназначенным для решения определенного круга задач [4, 12].

PolyWorks. *PolyWorks* – многофункциональное программное обеспечение производства компании *InnovMetric*, используемое для обработки данных лазерного сканирования: обратного инжиниринга, контроля геометрических параметров изделий, задач архитектуры, мониторинга деформаций земной поверхности и многих других. Программный комплекс *PolyWorks* позволяет работать с довольно большими объемами данных. *PolyWorks* состоит из нескольких модулей и имеет набор инструментальных средств, которые обеспечивают работу с данными. Важно отметить, что комплекс позволяет работать с данными, полученными с трехмерных сканеров всех известных марок.

Рассмотрим модули, из которых состоит *PolyWorks*.

IMAlign – предназначен для первичной обработки данных.

Первоначально производится импорт данных, полученных с помощью наземного трехмерного сканера или же данных, обрабатывавшихся в других программах. Уже на этой стадии есть некоторые возможности обработки:

- данные импортируются с заданной точностью (задается шаг выборки точек);

- данные могут быть отфильтрованы по расстоянию [5].

Производится первичная обработка облаков точек:

- масштабирование облаков точек;
- фильтрация на предмет совпадающих точек, то есть упорядочение (точки, расходящиеся на расстояния меньше задаваемого, удаляются).

В модуле осуществляется привязка к внешней системе координат, а затем следует сшивка сканов. Программа позволяет выбрать метод сшивки, которые можно подразделить на:

- визуальные методы сшивки;
- по референсным объектам.

И, что немаловажно, программа продуцирует статистику и гистограммы ошибок объединения и создает первичные полигональные модели.

IMMerge – предназначен для создания триангуляционной модели. Модуль позволяет вручную определять параметры, ответственные за качество и точность создаваемой модели.

IMEdit – предназначен для работы с TIN-поверхностями, созданными в PolyWorks или импортированными из других программ.

Модуль содержит функции сглаживания, заполнения «дыр», ретриангуляции (отдельные области могут быть триангулированы заново с меньшей точностью), различные механизмы создания кривых и инструменты их редактирования.

В этом модуле реализованы функции по созданию и редактированию NURBS-поверхностей – поверхностей, которые создаются по кривым, причем в модуле предусмотрено несколько способов создания этих кривых:

- вручную – определенные кривые проводятся по указанным точкам;
- кривые строятся по пересечениям с моделью плоскостей;
- по сечениям;
- автоматически составляется сетка кривых по модели с заданной точностью (шаг и максимальное расстояние, на которое они отстоят от модели) [5].

IMInspect. Включает в себя инструменты, позволяющие:

- производить вписывание в облако точек геометрических примитивов (окружность, конус, цилиндр, плоскость, точка, полилиния, сфера и вектор);

- построение полигональных поверхностей;
- объединение данных и ссылочных объектов в единую систему координат;
- профилирование, создание произвольных и заданных сечений;
- производить детальное сравнение, статистику и отчеты внутри или между данными, ссылочными объектами и примитивами;
- все виды измерений, контроль положения и состояния сложных конструкций (измерение геометрических размеров, как линейных, так и угловых, площадей, объемов);
- экспорт данных и ссылочных объектов в различные форматы.

IMCompress. Производит уменьшение в основном цветных полигональных 3D-моделей. *IMCompress* – вспомогательный модуль, позволяющий уменьшить вес модели путем сокращения числа составляющих ее элементов.

IMTexture – модуль, позволяющий совместить модель и ее текстурную карту, то есть получить модель с текстурами, отображающими не только геометрические, но и физические свойства модели. Текстурная карта должна быть получена со сканера, то есть в полученных данных со сканера, кроме координат, должны быть сведения об интенсивности. Совмещаются два типа данных, в результате модель имеет вид наиболее приближенный к реальности.

IMView – модуль для просмотра данных.

Модели, созданные в программе, сохраняются во внутреннем формате и могут быть просмотрены при помощи данного модуля.

Программный продукт PolyWorks предназначен для определенного круга задач, решение которых в других программных продуктах будет связано с большими временными и трудовыми затратами [5].

3D-Extractor и LMS Software. 3D-Extractor и LMS Software являются программными обеспечениями наземного лазерного сканера Callidus производства Германии. Оба программных комплекса не являются универсальными. Каждый из них разработан для решения очень узкого круга задач, при этом оба программных продукта дополняют друг друга.

Программное обеспечение 3D-Extractor не обладает функциями, позволяющими осуществлять управление настройками сканера, но при этом оснащен функциями, позволяющими проводить первичную обработку данных. LMS

Software, в свою очередь, обладает возможностью управления настройками, но не предназначен для обработки результатов [1].

Таким образом, функциональные возможности программы 3D-Extractor состоят в следующем:

- визуализация и «сшивка» сканов;
- сегментация и разрежение «облака точек»;
- профилирование;
- создание модели примитивов;
- построение TIN-поверхности;
- проведение измерений;
- экспорт «облака точек» и трехмерной модели.

Основные возможности LMS Software:

- управление сканером;
- задание параметров сканирования;
- настройка и калибровка сканера;
- редактирование растровых изображений, получаемых со встроенной камеры [5].

RealWorks Survey. Назначение программного обеспечения RealWorks Survey – обработка данных наземного лазерного сканирования. Программа позволяет производить сшивку (геопривязку) данных, редактирование точечной модели (чистку, разрежение) и непосредственно обработку, тип которой зависит от способа представления конечного результата.

RealWorks Survey поддерживает несколько методов сшивки:

- по специальным плоским или сферическим маркам, которые сканируются отдельно во время полевого этапа;
- по характерным точкам без использования марок на полевом этапе;
- автоматическая подгонка – программный способ сшивки, при котором итерационный алгоритм смещает один скан относительно другого и находит оптимальное положение по минимальному расстоянию между точками одного и другого скана;
- геопривязка, которая позволяет привязать скан или все измерения в заданную систему координат.

Вопрос о том, какой метод или комбинацию методов выбрать для конкретного проекта, решается на этапе рекогносцировки. Решение определяется особенностями технического задания: требованиями к конечной точности, сроком вы-

полнения работ, выбором рабочей системы координат и т. д. [5].

Основные функциональные модули программы, которые используются как для промежуточного редактирования результатов, так и для создания конечного материала и передачи данных для дальнейшей обработки в САПР, ГИС или системах 3D-дизайна:

- *сегментирование* – разбиение облака точек на сегменты для упрощения дальнейшей работы и очистки от «мусора», нежелательных объектов, попавших в сектор съёмки;
- *разрежение* – уменьшение числа точек по тем или иным критериям. Используется для «облегчения» точечной модели, для придания ей оптимального соотношения «число точек – степень подробности»;
- *построение срезов, сечений*. Сечения могут проводиться в любой плоскости, с любым интервалом;
- *построение изолиний*;
- *векторизация*, или отрисовка 3D- и 2D-полилиний по трёхмерному точечному растру;
- *инспектирование* – количественный анализ, картирование и визуализация отклонений между объектами съёмки. Эта функция используется для сравнения данных сканирования с проектом или для мониторинга – выявления изменений геометрии объекта с течением времени;
- *проведение измерений* (длин, углов, площадей и объёмов);
- *создание триангуляционной или TIN-поверхности*. Поверхностная модель имеет преимущества перед точечной при обработке и дальнейшем анализе, поэтому иногда целесообразно сначала создать TIN-модель и работать с ней;
- *ортопроецирование* – создание двухмерных растров. Растры впоследствии векторизуются в RWS или в стороннем программном обеспечении, в результате чего создаются плоские чертежи. Такой вариант обработки данных используется в реставрации, строительстве, для создания архитектурных обмеров;
- *трехмерное моделирование* – модуль, позволяющий встраивать в облака точек и редактировать геометрические примитивы – плоскости, цилиндры, конусы, торы и т. д. Данный мо-

дуль дает возможность строить в RealWorks Survey полноценные трехмерные модели сложных промышленных установок [5].

Кроме вышеперечисленных, в программе есть ещё и другие возможности, например дешифровка и классификация объектов. Кроме того, данный программный комплекс работает с изображениями, получаемыми как со сканера, так и со сторонней камеры. Изображения используются для наложения текстур на полигональную модель, для раскрашивания точечной модели в целях дешифровки.

PointScape. PointScape – программное обеспечение для обработки результатов трехмерного лазерного сканирования для сканеров Trimble (США).

Основные функциональные возможности данного программного продукта:

- управление сканером и задание параметров сканирования;
- выбор зоны сканирования прямоугольником и полигоном по фото- и видеоизображению;
- геопривязка различными методами. Возможность геопривязки позволяет оперативно контролировать результат сканирования во время полевых работ;
- управление встроенной фотокамерой;
- съемка фотопанорамы;
- возможность ввода точек в САПР в качестве трехмерной подложки без ограничения их количества.

3Dipsos. 3Dipsos является еще одним программным обеспечением фирмы Trimble производства США. 3Dipsos используется для создания 3D-моделей сложных технологических установок, промышленных площадок, цехов. В отличие от других относительно простых в управлении программных продуктов, например RealWorks Survey, представляет собой довольно сложное в управлении средство как для создания модели, состоящей из графических примитивов, так и для создания триангуляционных нерегулярных сетей [1].

Основные возможности 3Dipsos:

- сшивка облаков точек различными методами, геодезическая привязка;
- сегментирование;
- встраивание графических примитивов (цилиндров, конусов, торов, кубов, плоскостей, точек, окружностей, эллипсов, плоскостей,

пирамид, эллипсоидов и др.) в соответствующие облака точек;

- наличие полуавтоматических алгоритмов по сегментированию и моделированию;
- встроенные функции по моделированию трубных, несущих профильных конструкций, систем кондиционирования и вентиляции, отопления, коробов электропроводки, лестниц перил и др.;
- построение и редактирование триангуляционной сети или TIN-поверхности;
- средства работы с изображениями, получаемыми как со сканера, так и со сторонней фотокамеры. Возможность наложения текстур на построенную модель;
- автоматический поиск коллизий;
- сбор статистики по построенной модели;
- разрежение;
- построение срезов, сечений;
- проведение измерений (длин, площадей, объемов) [1].

RapidForm. Последнее программное обеспечение, которое необходимо рассмотреть – RapidForm (Япония). Так же, как и рассмотренные выше программы, RapidForm – средство обработки данных лазерного сканирования. Данный программный продукт разделен на самостоятельные разделы, каждый из которых выполняет конкретную задачу и соответствует определенному этапу работы с трёхмерной моделью:

- *Scan Workbench* включает в себя инструменты по первичной обработке облаков точек, несколько методов сшивки и создание TIN-поверхности. Кроме того, RapidForm можно использовать в качестве программы, управляющей процессом сканирования;
- *Polygon Workbench* предназначен для работы с TIN-поверхностями, созданными в данном ПО или импортированными из других программ (форматы 3ds, stl, wrl, dxf и др.). Модуль содержит как стандартные функции сглаживания, заполнения дыр, реполигонизации, поиска и удаления аномальных полигонов, так и функции для подготовки модели к созданию NURBS-поверхностей;
- *Color Workbench* – здесь представлены функции по работе с цветовой информацией, которые во многом напоминают функции программного пакета Adobe Photoshop. Для текстурирования модели предусмотрена

возможность наложения на объект цифровой фотографии;

- *Curve Workbench* – включает в себя различные механизмы создания кривых и инструменты их редактирования. Создание сети кривых является необходимым промежуточным этапом при переходе от полигональной к NURBS-модели;
- *Surface Workbench* – в этом модуле реализованы функции по созданию и редактированию NURBS-поверхностей. Полный цикл создания NURBS-модели выглядит следующим образом: создание и редактирования полигональной модели (*Polygon Workbench*), создание и редактирование сети кривых (*Curve Workbench*) и формирование NURBS-поверхностей (*Surface Workbench*);
- *Inspection Workbench* позволяет проводить инспектирование и контроль качества изделий, то есть сравнивать модели, созданные в RapidForm, с импортированными CAD-моделями и составлять отчет в формате HTML или MS Excel;
- *Feature Workbench* – модуль, состоящий из функции по созданию поверхностей и твердотельных моделей путем стандартных операций вращения, выдавливания, рисования фасок и т. д.;
- *Exchange Workbench* позволяет легко импортировать в RapidForm трехмерную информацию различных форматов;
- *3D Imaging Workbench* позволяет строить 3D-модели по данным компьютерной томографии и магнитной резонансной томографии (так называемые DICOM-данные – Digital Imaging and Communications in Medicine) [5].

Таким образом, мы рассмотрели функциональные возможности всех базовых программных обеспечений для обработки данных наземного лазерного сканирования, используемые в России, но для того чтобы понять, какая из перечисленных программ является наиболее универсальной и простой в управлении, проведем сравнение программных комплексов по главным параметрам.

В таблице 2 приведена сравнительная характеристика базового программного обеспечения, используемого для первичной обработки данных наземного лазерного сканирования.

Таблица 2 более наглядно отражает все плюсы и минусы существующих программных комплексов для наземного лазерного сканирования. Каждый из них подходит для производства определенного вида работ, при этом необходимо определить, какой программный комплекс лучше всего применять при проведении различных геодезических работ.

Заключение

Таким образом, анализируя существующие программные обеспечения для обработки данных наземного лазерного сканирования, можно сделать следующий вывод:

1. Наибольшим числом функций, необходимых для первичной и дальнейшей обработки данных и позволяющих выполнить крупномасштабную топографическую съемку, обмеры фасадов, построение трехмерной модели объекта, работать в маркшейдерии и горном деле, обладают только три программных продукта – Cyclone (Leica Geosystems, Швейцария), PolyWorks (Innovmetric, Канада) и RealWorks Survey (Trimble, США).
2. У PolyWorks и RealWorks Survey отсутствуют функции управления настройками сканера, что может привести к сложностям во время выполнения полевых работ.
3. Cyclone на данный момент является наиболее универсальным программным продуктом, позволяющим обрабатывать полученные данные и приводить их к необходимому конечному результату.
4. Использование программного комплекса Cyclone позволит провести полный комплекс работ по производству, как например крупномасштабной топографической съемки или съемки фасадов, конструктивных элементов и каркаса зданий, так и наблюдений за стабильностью сооружений с определением полных и точных данных о динамике деформаций.

Таблица 2. Функции программного обеспечения при первичной обработке данных наземного лазерного сканирования

Функции программного обеспечения	Cyclone	PolyWorks	PointScape	Real Works Survey	3D-Extractor	LMS Software	3Dipso	RapidForm	RiSCAN Pro
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Управление настройками сканера									
Выбор объекта съемки	+	–	+	–	–	+	–	–	+
Определение плотности сканирования	+	–	+	–	–	+	–	+	+
Определение истинного цвета точек по фотографии	+	–	+	–	–	+	–	+	+
Автоматизация при сканировании визирных марок	+	–	+	–	–	+	–	–	+
Регистрация (уравнивание) сканов и создание единого облака точек									
Строгое математическое уравнивание сканов в единое геометрическое пространство («регистрация»)	+	+	–	–	–	–	–	–	+
Использование визирных целей при регистрации	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Использование сканированных точек при регистрации	+	+	+	+	+	–	+	+	+
Обработка результатов									
Автоматическое моделирование стандартных примитивов	+	+	–	+	+	–	+	–	–
Встраивание трехмерных построений по облаку точек	+	+	–	+	+	–	+	+	–
Импорт и экспорт облаков точек из форматов других сканеров	+	+	–	+	–	–	+	+	+
Импорт и экспорт облаков точек и смоделированных примитивов в САПР	+	+	–	+	+	–	+	+	+
Ограничение выводимых точек для просмотра (фильтрация, разрезание на части и т. д.)	+	+	+	+	+	–	+	+	+
Автоматическое моделирование нерегулярной трехмерной поверхности (сеть треугольников)	+	+	–	+	+	–	+	+	+
Построение горизонталей и вычисление объемов	+	+	–	+	–	–	+	+	–
Определение точек соприкосновения трехмерных моделей с облаком точек	+	+	–	–	–	–	+	+	–
Возможность ввода точек САПР в качестве трехмерной подложки без ограничения их количества	+	+	+	+	+	–	+	+	–
Возможность работы в режиме «клиент — сервер»	+	+	–	–	–	–	–	–	–

Литература

1. Программное обеспечение, используемое для обработки данных сканирования [Электронный ресурс] // Научно-производственное предприятие «Фотограмметрия». – Режим доступа : <http://photogrammetria.ru>.
2. Ковров, А. А. ПО RISCAN PRO и его возможности по обработке данных наземного лазерного сканирования [Текст] / А. А. Ковров // Геопрофи. 2006. № 5. С. 59–61.
3. Дружинин, М. Ю. CYCLONE – программный комплекс для обработки данных наземного лазерного сканирования [Текст] / М. Ю. Дружинин // Геопрофи. 2003. № 2. С. 37–39.
4. Геодезические приборы и технологии Навгеоком. Программное обеспечение [Электронный ресурс] // Leica Geosystems. – Режим доступа : <http://www.navgeocom.ru>.
5. ПО для лазерного сканирования [Электронный ресурс] // ГЕОКАД. Геоинформационные и кадастровые системы и технологии. – Режим доступа : <http://www.geocad.ru>.
6. Кузнецова, А. А. Опыт использования технологий и оборудования Leica Geosystems в учебно-образовательном процессе КубГТУ. Выполнение хоздоговорных работ [Текст] / А. А. Кузнецова, Д. А. Гура, Г. Г. Шевченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2013. № 4. С. 64–66.
7. Гура, Д. А. Современные измерительные технологии на кафедре кадастра и геоинженерии в КубГТУ [Текст] / Д. А. Гура, Г. Г. Шевченко // Геопрофи. 2012. № 6. С. 23–24.
8. Учебная геодезическая практика [Текст] : методические указания по организации и контролю учебной практики для студентов всех форм обучения направлений 120700 Землеустройство и кадастры, 130500 Нефтегазовое дело, 270800 Строительство, 271101 Строительство уникальных зданий и сооружений. Т. 1. – Часть 1 Создание съемочного обоснования / Г. Г. Шевченко, С. Г. Бердзенишвили, Д. А. Гура [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2012. – 31 с.
9. Учебная геодезическая практика [Текст] : методические указания по организации и контролю учебной практики для студентов всех форм обучения направлений 120700 Землеустройство и кадастры, 130500 Нефтегазовое дело, 270800 Строительство, 271101 Строительство уникальных зданий и сооружений. Т. 2. – Часть 2 Топографические съемки / Г. Г. Шевченко, С. Г. Бердзенишвили, Д. А. Гура [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2012. – 36 с.
10. Учебная геодезическая практика [Текст] : методические указания по организации и контролю учебной практики для студентов всех форм обучения направлений 120700 Землеустройство и кадастры, 130500 Нефтегазовое дело, 270800 Строительство, 271101 Строительство уникальных

References

1. Software, using for information processing of scanning. Accessed at: <http://photogrammetria.ru>. (in Russian)
2. Kovrov, A. A. The RISCAN PRO Software and its Capabilities to Process Ground Laser Scanner Data. In: *Geoprofi*, 2006, No. 5, pp. 59–61. (in Russian)
3. Druzhinin, M. Yu. CYCLONE – a Software Package for Processing Ground Laser Scanning Data. In: *Geoprofi*, 2003, No. 2, pp. 37–39. (in Russian)
4. Survey instruments and technologies of Navgeocom. Software. Accessed at: <http://www.navgeocom.ru>. (in Russian)
5. GEOKAD. Software for laser scanning. Accessed at: <http://www.geocad.ru>. (in Russian)
6. Kuznetsova, A. A.; Gura, D. A.; Shevchenko, G. G. Experience in the use of technologies and equipment Leica Geosystems in the teaching-learning process KubGTU. Performing contractual works. In: *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*, 2013, No. 4, pp. 64–66. (in Russian)
7. Gura, D. A.; Shevchenko, G. G. Current measuring technologies at Cadaster and Geoengineering Department, Cuban State Technological University. In: *Geoprofi*, 2012, No. 6, pp. 23–24. (in Russian)
8. Shevchenko, G. G.; Berdzenishvili, S. G.; Gura, D. A.; Zheltko, S. Ch.; Zheltko, Ch. N. Academic geodesic practice: methodological guidelines according to inspection arrangement of practical training for students of all modes of study of courses 120700 Land-use system and Cadaster, 130500 Oil and Gas Engineering, 270800 Construction, 271101 Construction of unique buildings and structures, the first volume – Part 1 Creation of geodetic control. Krasnodar: KubSTU, 2012. 31 p. (in Russian)
9. Shevchenko, G. G.; Berdzenishvili, S. G.; Gura, D. A.; Zheltko, S. Ch.; Zheltko, Ch. N. Academic geodesic practice: methodological guidelines according to inspection arrangement of practical training for students of all modes of study of courses 120700 Land-use system and Cadaster, 130500 Oil and Gas Engineering, 270800 Construction, 271101 Construction of unique buildings and structures, the second volume – Part 2 Topographic survey. Krasnodar: KubSTU, 2012. 36 p. (in Russian)
10. Zheltko, Ch. N.; Berdzenishvili, S. G.; Korelov, S. N.; Gura, D. A.; Shevchenko, G. G.; Pastuhov, M. A. Academic geodesic practice: methodological guidelines according to inspection arrangement of practical training for students of all modes of study of courses 120700 Land-use system and Cadaster, 130500 Oil and Gas Engineering, 270800 Construction, 271101 Construction of unique buildings and structures, the third volume, Part 3 Solution of geodesic problems. Krasnodar: KubSTU, 2013. 43 p. (in Russian)
11. Zheltko, Ch. N.; Shevchenko, G. G.; Berdzenishvili, S. G.; Gura, D. A.; Oleinikova, L. A. Academic geodesic practice: methodological guidelines accor-

- зданий и сооружений. Т. 3. – Часть 3 Решение геодезических задач / Ч. Н. Желтко, С. Г. Бердзенишвили, С. Н. Корелов [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2013. – 43 с.
11. Учебная геодезическая практика [Текст] : справочное пособие по организации и контролю учебной практики для студентов всех форм обучения направлений: 120700 – Землеустройство и кадастры, 270800 – Строительство, 130500 – Нефтегазовое дело, 271101 – Строительство уникальных зданий сооружений / Ч. Н. Желтко, Г. Г. Шевченко, С. Г. Бердзенишвили [и др.]. – Краснодар : ФГБОУ ВПО «КубГТУ», ООО «Издательский Дом – Юг», 2014. – 15 с.
 12. Татарников, А. М. Обзор программного обеспечения для работы с данными лазерного сканирования компании BENTLEY SYSTEMS, INC [Текст] / А. М. Татарников // САПР и графика. 2012. № 7 (189). С. 50–51.
 13. Гура, Д. А. Экологический мониторинг деформации сооружений с использованием наземного лазерного сканирования [Текст] / Д. А. Гура, Г. Г. Шевченко // Строительство–2010 : материалы международной научно-практической конференции / М-во образования и науки Российской Федерации, Ростовский гос. строительный ун-т [и др. ; редкол. : А. И. Шуйский – отв. ред. и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростовский гос. строительный ун-т, 2010. – С. 152–153.
 14. Boyko, E. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts [Электронный ресурс] / E. Boyko, V. Krylenko, M. Krylenko // Proceedings of SPIE. Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, (RSCy 2015) / edited by Diofantos G. Hadjimitsis, Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid, 2015. Volume 9535. Режим доступа : <http://cofore.coastdyn.ru/95351Q.pdf>.
 15. Merging terrestrial laser scanning technology with photogrammetric and total station data for the determination of avalanche modeling parameters [Текст] / A. Prokop, P. Schön, F. Singer [et al.] // Cold Regions Science and Technology. 2015. Vol. 110. P. 223–230.
 16. Duma, Virgil-Florin. Laser scanners: from industrial to biomedical applications [Электронный ресурс] / Virgil-Florin Duma // Proceedings of SPIE – VIII Iberoamerican Optics Meeting and XI Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications, 2013. Vol. 8785. Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1117/12.2025220>.
 17. Duma, Virgil-Florin. Laser scanners: from industrial to biomedical applications [Электронный ресурс] / Virgil-Florin Duma // Proceedings of SPIE – VIII Iberoamerican Optics Meeting and XI Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications, 2013. Vol. 8785. Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1117/12.2025220>.
 18. Gura, D. A.; Shevchenko, G. G. Environmental monitoring of deformation of structures, based on surface laser scanning. In: *Construction 2010: materials of the International research-to-practice conference / Edited by Shuyskiy, I. A. et al.* Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2010, pp. 152–153. (in Russian)
 19. Boyko, E.; Krylenko, V.; Krylenko, M. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts. In: *Proceedings of SPIE. Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, (RSCy 2015) / edited by Diofantos G. Hadjimitsis, Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid*, 2015, Volume 9535, Accessed at: <http://cofore.coastdyn.ru/95351Q.pdf>.
 20. Prokop, A.; Schön, P.; Singer, F.; Pulfer, G.; Naaim, M.; Thibert, E.; Soruco, A. Merging terrestrial laser scanning technology with photogrammetric and total station data for the determination of avalanche modeling parameters. In: *Cold Regions Science and Technology*, 2015, Vol. 110, pp. 223–230.
 21. Duma, Virgil-Florin. Laser scanners: from industrial to biomedical applications. In: *Proceedings of SPIE – VIII Iberoamerican Optics Meeting and XI Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications*, 2013, Vol. 8785, Accessed at: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2025220>.

Шевченко Грiттель Геннадiївна – асистент кафедри кадастру i геoiнженерiї ФДБОУ ВО «Кубанський державний технологiчний унiверситет». Наковi інтереси: геодезiя, будiвництво, архiтектура.

Гура Дмитрiй Андрiйович – старший викладач кафедри кадастру i геoiнженерiї ФДБОУ ВО «Кубанський державний технологiчний унiверситет». Наковi інтереси: геодезiя, будiвництво, архiтектура.

Глазков Руслан Евгенович – студент ФГБОУ ВО «Кубанский державний технологічний університет». Наукові інтереси: геодезія, будівництво, архітектура.

Шевченко Гриттель Геннадьевна – ассистент кафедры кадастра и геоинженерии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». Научные интересы: геодезия, строительство, архитектура.

Гура Дмитрий Андреевич – старший преподаватель кафедры кадастра и геоинженерии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». Научные интересы: геодезия, строительство, архитектура.

Глазков Руслан Евгеньевич – студент ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». Научные интересы: геодезия, строительство, архитектура.

Shevchenko Grittel – Assistant; Cadaster and Geoengineering Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technological University». Scientific interests: surveying, construction, architecture.

Gura Dmitry – Senior lecturer; Cadaster and Geoengineering Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technological University». Scientific interests: surveying, construction, architecture.

Glazkov Ruslan – Student; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technological University». Scientific interests: surveying, construction, architecture.