

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ  
ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
Z+F LASERCONTROL ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра инженерной геодезии

## ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
Z+F LASERCONTROL ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2021

УДК 528.065/.067 (073)

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ. Использование программного обеспечения Z+F LASERCONTROL при производстве топографо-геодезических работ: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: В.А. Вальков, К.П. Виноградов. СПб, 2021. 50 с.**

Методические указания составлены в соответствии с утверждённой программой курса. В них представлены рекомендации по обработке облаков точек лазерных отражений, полученных с помощью наземных лидаров Z+F.

Предназначены для студентов специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» специализации «Инженерная геодезия».

Научный редактор д.т.н. *М.Г. Мустафин*

Рецензент д.т.н. *М.Я. Брынь* (Петербургский государственный университет путей сообщения)

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Дистанционные методы изучения деформаций инженерных сооружений» и «Прикладная фотограмметрия и лазерная съемка при строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений» являются частью основной образовательной программы подготовки специалистов по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия», специализации «Инженерная геодезия». В задачи курсов предметов входит получение облаков точек лазерных отражений средствами наземного лазерного сканера Z+F Imager 5006 и изучение выборки функционала программы Z+F LaserControl, которая может быть использована в повседневной деятельности геодезиста и позволит предложить весь необходимый перечень операций для обработки сканов (просмотр, визуализация, фильтрация, регистрация, построение сечений, конвертация в пользовательские форматы, экспорт в САПР).

Подразумевается, что студенты, приступающие к изучению Z+F LaserControl, уже приобрели необходимые навыки работы с электронно-оптическими приборами (электронными теодолитами, тахеометрами, цифровыми нивелирами), умеют пользоваться современным программным обеспечением для обработки и интерпретации результатов геодезических измерений (Credo\_Dat, Autodesk AutoCAD Civil 3D), а также владеют теоретическими сведениями по наземному лазерному сканированию (результаты сканерных съемок, обобщенные методики сбора и обработки данных).

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О НАЗЕМНОМ ЛАЗЕРНОМ СКАНИРОВАНИИ

Технология наземного лазерного сканирования (НЛС), появившаяся относительно недавно, на сегодняшний день является глубоко внедренной в процесс топографо-геодезических работ во всем мире. Ключевым ее элементом является применение специальных приборов - лазерных сканеров (лидаров), реализующих процесс определения пространственных координат точек поверхности объекта съемки в автоматическом режиме.

Первые наземные сканеры появились в конце 90-х гг. XX века, а к сегодняшнему дню насчитывается уже целый ряд мировых разработчиков данного оборудования и сопровождающего программного обеспечения.

В качестве основных преимуществ НЛС при решении задач, связанных со сбором геопрограммной информации о различных объектах, принято считать:

- высокую скорость проведения работ;
- высокую точность;
- бесконтактность метода сбора данных;
- полноту и детальность получаемых результатов, фиксирующих состояние объекта в текущий момент времени;
- мгновенную трехмерную визуализацию;
- минимальное влияние "человеческого фактора";
- востребованность данных широким кругом специалистов.

Указанные преимущества НЛС уже сделали его незаменимым при решении задач в различных областях науки и техники:

- а) Инженерные изыскания:
  - создание и обновление крупномасштабных топографических планов;
  - трассирование линейных объектов;
  - создание цифровых моделей рельефа, объектов и местности;
- б) Строительство и эксплуатация зданий и сооружений:

- производство исполнительных съемок;
- мониторинг технического состояния объектов;
- уточнение коллизий и оперативное внесение изменений в проектные решения;
- создание геоинформационных систем (ГИС) зданий и сооружений;
- информационное моделирование зданий и сооружений (BIM).

в) Архитектура:

- создание обмерно-фиксационной документации зданий и сооружений, в том числе объектов культурного наследия;
- подготовка исходных графических материалов для проведения расчетных и проектных работ;
- определение объемно-планировочных и конструктивных решений.

г) Промышленность:

- цифровое моделирование многочисленных промышленных объектов в целом, а также отдельных блоков технологического оборудования и коммуникаций.

Непосредственным результатом наземного лазерного сканирования является цифровая трехмерная точечная модель объекта, представляющая набор точек лазерных отражений (ТЛО). В общем виде каждая ТЛО включает данные о пространственных координатах (сферических или прямоугольных) в условной системе координат лидара, интенсивности отраженного сигнала, реальном цвете точки (если использовалась внешняя или встроенная фотокамера).

Представление результата наземной сканерной съемки на одной станции может быть в растровом виде (рис. 1, а) или в виде облака точек (рис. 1, б).

а)

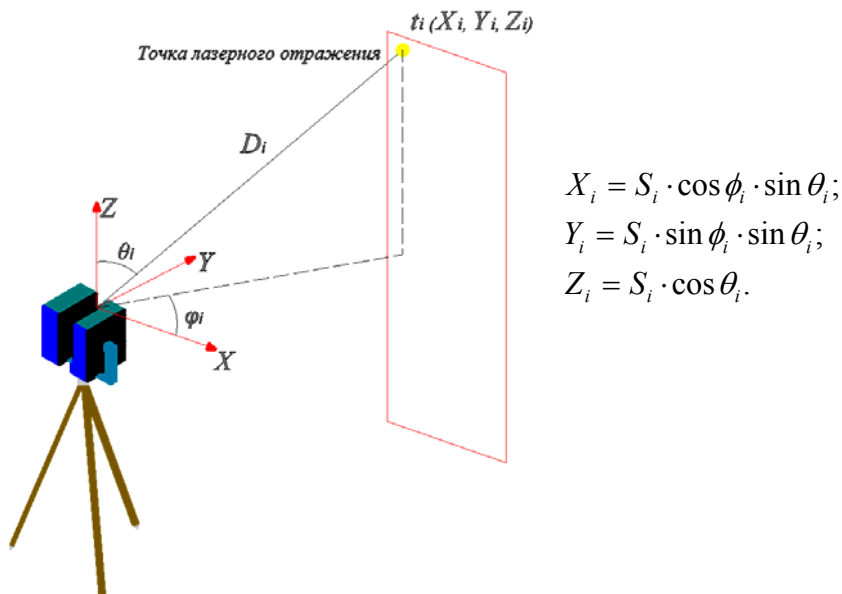


б)



Рис. 1. Результат НЛС одной станции: а) в растровом виде; б) в виде облака точек.

Принцип определения положения ТЛО и обобщенные формулы представлены на рис. 2.



$$X_i = S_i \cdot \cos \phi_i \cdot \sin \theta_i;$$

$$Y_i = S_i \cdot \sin \phi_i \cdot \sin \theta_i;$$

$$Z_i = S_i \cdot \cos \theta_i.$$

$X, Y, Z$  - координатные оси прямоугольной системы координат прибора;

$X_i, Y_i, Z_i$  - пространственные координаты ТЛО  $t_i$ ;  $D_i$  - наклонное расстояние до

ТЛО  $t_i$ ;  $\phi_i$  - полярный угол;  $\theta_i$  - зенитное расстояние.

Рис. 2. Обобщенный принцип определения координат ТЛО наземным лазерным сканером

Основными структурными элементами НЛС являются:

- дальномерный блок для измерения расстояний до объектов, находящихся на пути приемо-передающего тракта дальномера, с помощью полупроводникового лазера в качестве источника излучения;

- оптико-механический блок развертки для изменения направления лазерного луча, представляющий собой комбинацию сервопривода и зеркальных призм, осуществляющих разворот в го-

горизонтальной плоскости относительно оси  $Z$  и определяющих угол направленности лазерного луча в вертикальной плоскости;

- приемо-передающий тракт дальномера, смещающийся в пошаговом или непрерывном режимах;

- канал передачи данных на управляющий компьютер со специализированным ПО.

Наземные сканеры представлены на рынке большим разнообразием моделей, отличающихся техническими характеристиками, принципом действия, габаритами и областями применения. Наиболее важными особенностями, определяющими возможности прибора, зачастую являются дальность действия и точность. Последние характеристики напрямую связаны с методом измерения расстояний: триангуляционным, фазовым или импульсным.

## **2. НАЗЕМНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СКАНЕР Z+F IMAGER 5006**

### **2.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНОГО ЛИДАРА Z+F IMAGER 5006**

Z+F Imager 5006 представляет собой высокоточный лазерный сканер фазового типа, отличающийся высоким уровнем производительности работы (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид НЛС Z+F Imager 5006

Основные технические характеристики лидара представлены в таблице 1.



Таблица 1

## Технические характеристики Z+F Imager 5006

<b>ЛАЗЕРНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА</b>	
Максимальная дальность измерений	79 м
Минимальная дальность измерений	1 м
Разрешение	0.1 мм
Скорость сканирования	500 000 точек/сек.
Ошибка линейаризации на 50 м	1 мм
Помехи на расстоянии 10 м (ср. квадр.)	
отражаемость 10% (на черном)	1.2 мм
отражаемость 20% (на темно-сером)	0.7 мм
отражаемость 100% (на белом)	0.4 мм
Помехи на расстоянии 50 м (ср. квадр.)	
отражаемость 10% (на черном)	7.5 мм
отражаемость 20% (на темно-сером)	4.0 мм
отражаемость 100% (на белом)	2.5 мм
<b>ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК</b>	
Лазер	видимый
Расходимость луча лазера	0.22 мрад
Диаметр луча на 1 м расстояния	3 мм
Класс безопасности лазера	3R (DIN EN 60825-1)
<b>ОТКЛОНЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ</b>	
Поле зрения при вертикальном сканировании	310°
Поле зрения при горизонтальном сканировании	360°
Точность при вертикальном сканировании	0.007°
Точность при горизонтальном сканировании	0.007°
<b>РАЗРЕШЕНИЕ</b>	
В зависимости от режима съемки от 1250 точек / 360° (25 сек) до 40000 точек / 360° (26 минут 40 секунд)	
Максимальное разрешение выборки	100 000 точек
<b>ДРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	
Наличие компенсатора наклона разрешением 1/1 000° и точностью 1/500°	
Наличие Ethernet/ USB 2.0 для передачи данных	
Наличие внутреннего запоминающего устройства	
Наличие панели управления с экраном (4 линии) и клавиатурой (6 кнопок)	
Рабочая температура от 0° до 40°С	
Габариты (ширина x диаметр x высота)	286 x 190 x 372 мм
Вес	14 кг
Время работы при использовании: перезаряжаемых батарей/внешних батарей	1,5 часа/4 часа

## 2.2 РАБОТА С ЛИДАРОМ Z+F IMAGER 5006

### 2.2.1 УСТАНОВКА ПРИБОРА

Для установки сканера в рабочее положение (рис. 4) требуется:

- 1) Выбрать место установки прибора с учетом наилучшей видимости интересующих объектов съемки и надежно расположить ножки штатива;
- 2) Установить подставку на штатив и тщательно закрепить становой винт;
- 3) Закрепить ножки штатива;
- 4) Работая винтами ножек штатива, вывести подставку в горизонтальное положение;
- 5) Вывести пузырёк уровня подставки в нуль – пункт (сначала двумя винтами, затем третьим);
- 6) Установить сканер на подставку и закрепите его с помощью блокирующего винта, при этом обязательно должен быть слышен щелчок.

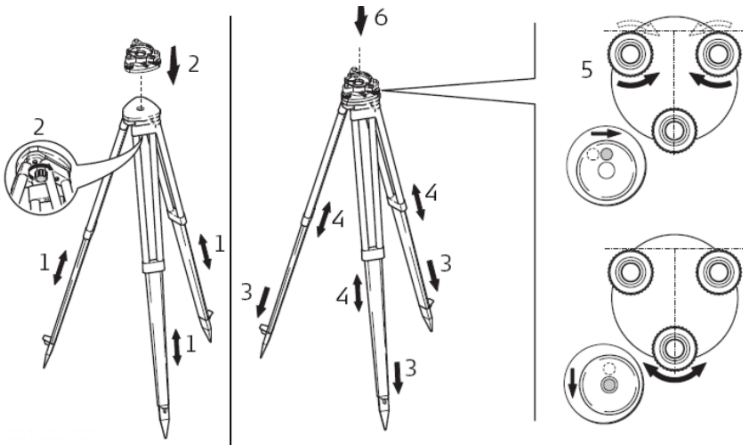


Рис. 4. Последовательность установки прибора

В случае использования сканерных марок для последующей регистрации сканов разместить их вокруг прибора. Отметить положение каждой марки на абрисе. Отметить точку стояния сканера относительно капитальных сооружений.

## 2.2.2 УСЛОВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Перед началом работ нужно с вниманием отнестись к поверхностям сканирования. Неподходящими являются поверхности с сильным отражением (полированный металл, стекло, позолота), сильным поглощением (чёрная поверхность), а также полупрозрачные (стекло). По возможности такие объекты должны краситься временными смесями или посыпаться специальным порошком.

Дождь, снег или туман будут причиной плохих измерений, поэтому в такую погоду работать не рекомендуется. Попадание грязи, запыление зеркала, или наложение отпечатков пальцев тоже вызовут ошибки. Измерения до поверхностей, прямо освещенных солнцем, имеют меньшую точность. Если температура воздуха выходит за пределы установленного допуска ( $0^{\circ}$  -  $40^{\circ}\text{C}$ ), возникает сообщение об ошибке и прибор отключается. Кроме того, следует избегать большой разницы перепада температуры при транспортировке прибора.

## 2.2.3 ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Кнопки управления сканером представлены на рис. 5.

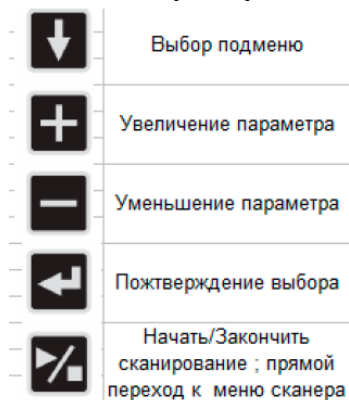


Рис. 5. Кнопки управления сканером

Перед включением системы следует проверить чистоту линз, степень заряда и правильность установки батареи. Для включения нужно нажать кнопку ON/OFF. Процесс включения и инициализа-

ции занимает приблизительно 20 секунд. В результате прозвучит внятный сигнал, свидетельствующий о начале работ. В случае наклона подставки более чем на 2 градуса, при включении прибора на экране выводится предупреждающее сообщение.

Для выключения системы следует нажать и держать кнопку ON/OFF как минимум 1 секунду, после чего на дисплее появится надпись «DEVICE IS SWITCHING OFF» («Прибор завершает работу»). В отдельных случаях, если система зависнет, потребуется держать кнопку ON/OFF как минимум в течение 5 секунд.

После включения прибора можно выбрать одно подменю из предложенных пяти (рис. 6):

1. Информация;
2. Статус;
3. Датчик наклона;
4. Сканирование;
5. Управление данными.



Рис. 6. Подменю прибора

На рис. 7 представлено изображение экрана. Линия вверху экрана показывает меню, в котором вы находитесь в данный момент. Можно изменять режимы съемки и параметры, используя кнопки **+** / **-**, вводить новые параметры с помощью **←**. При появлении ↓ внизу экрана можно пролистать подменю с использованием кнопки **↓**.



Рис. 7. Подменю прибора

Окно информации появляется сразу после загрузки системы (рис. 8).

01.01.2007 12:00:00	Дата и время
No. 999/99999	Серийный номер
IP 172.20.255.255	IP-адрес сканера
Ver 7.0.0.0	Версия встроенного программного обеспечения
IMAGER 5006	Название модели
Hard 1.0 Im	Осуществление аппаратных средств

Рис. 8. Окно информации

Подменю статуса содержит информацию о текущем состоянии сканера (рис. 9).

Batt: 93 % AC	Текущий заряд батареи
– AC	Батарея не подсоединена, энергия поступает от KNL-24
93 % AC	Батарея присоединена, подзаряжается, энергия поступает от KNL-24
93 % 1.	Батарея подсоединена, энергия поступает от первого отсека батареи
93 % 2.	Батарея подсоединена, энергия поступает от второго отсека батареи
HDD: 85 % free	Свободное место на внутреннем жестком диске
Ready : to scan	Текущее состояние сканера. Можно начинать сканирование
Error Laser	Сканирование не может быть осуществлено. Свяжитесь с контактным центром Z+F.
Error FPGA	
ErrorPWRCTRL	
Temp low	Температура слишком мала, дайте сканеру прогреться.
Temp high	Температура слишком велика, охладите сканер.
Batt empty	Батарея на нуле. Меняйте источник батареи
HDD full	Внутренняя память жесткого диска заполнена. Освободите место для новых сканов.
Justification: 5 of 180 days	Количество дней с последней проверки IMAGER 5006. Внутренние установки должны проверяться каждые 180 дней.

Рис. 9. Текущее состояние сканера

Сканер оборудован электронным двухосевым датчиком наклона (рис 10).

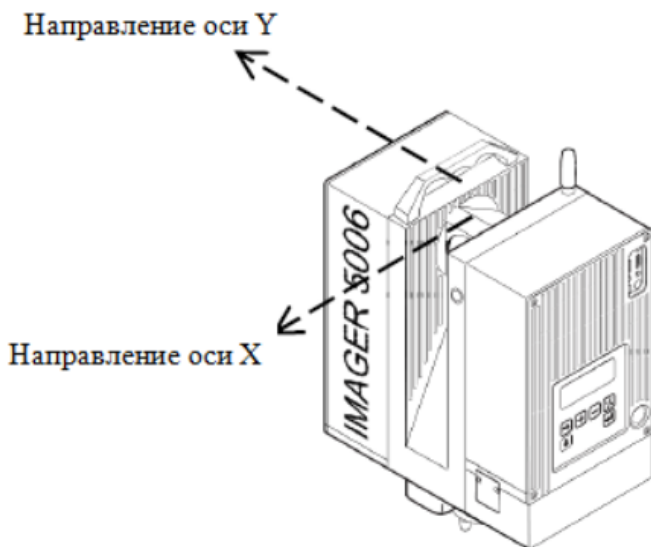


Рис. 10. Направления учета наклонов датчиком сканера

Прибор может быть горизонтирован с помощью трёх подъёмных винтов подставки с отслеживанием отклонений в меню «Уровень» (рис. 11).

X: 0.213 deg	Наклон по оси X
Y: -2.213 deg ↓	Наклон по оси Y

Рис. 11. Показания датчика наклонов сканера

В случае наклона более чем на 2 градуса появляется стрелка, указывающая, что горизонтирование должно быть выполнено повторно.

В подменю "Сканирование" можно выбрать режим сканирования с помощью кнопок  $\oplus$ / $\ominus$ . Характеристики режимов представлены в таблице 2.

Таблица 2

## Характеристики режимов работы лидара Z+F Imager 5006

Режим	Угловой шаг сканирования в горизонтальной и вертикальной плоскости, °	Продолжительность сканирования, мин. сек.	Размер файла, Мб
Ultra High	0.009	26 40	2880
Super High	0.018	6 44	720
High	0.036	3 22	180
Middle	0.072	1 40	45
Preview	0.288	0 25	3

Кроме того, можно задать область сканирования. Для вертикального угла съемки предусмотрен ряд вариантов (рис. 12).

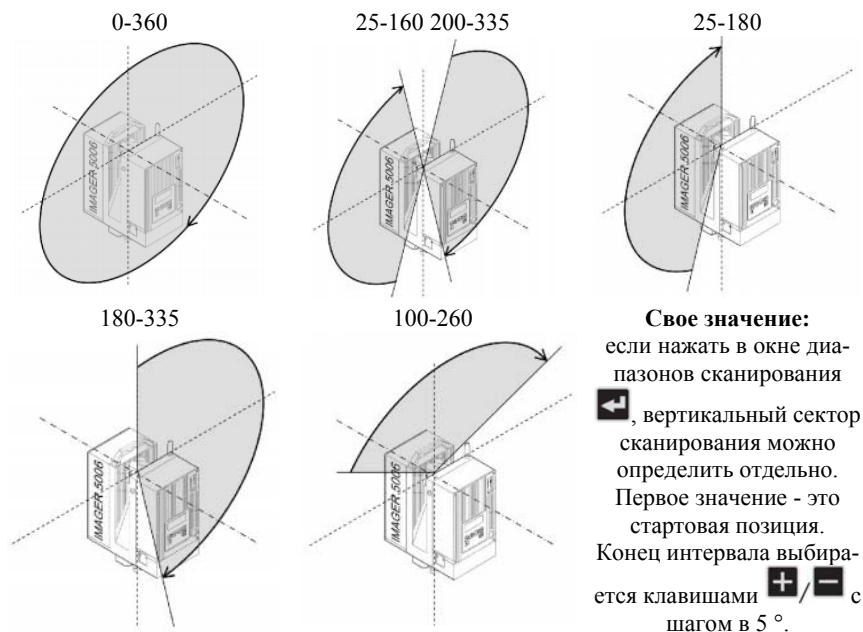



Рис. 12. Выбор диапазона сканирования по вертикали

Для выбора горизонтального угла съемки требуется установить начальное значение диапазона, а затем путем нажатия  выбрать значение конца диапазона с шагом 5°. Существует возмож-

ность задать горизонтальный угол съемки вручную путем поворота лидара. Данные по выбору углов съемки отображаются на дисплее (рис. 13).

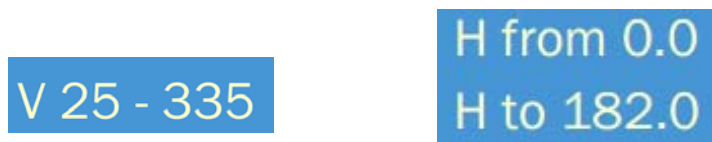


Рис. 13. Показания углов съемки на дисплее




После выбора необходимых параметров можно начинать сканирование.

Подменю управления информацией позволяет скопировать или переместить данные с внутреннего жёсткого диска сканера на внешний жёсткий диск. Совместимые файловые системы: FAT32, EXT2 и EXT3.

## 2.2.4 СВЯЗЬ

Сканер Z+F IMAGER 5006 оборудован возможностью сетевой связи, интерфейсом USB 2.0 и Bluetooth. Эти аппаратные средства преобразования входных и выходных сигналов позволяют управлять прибором извне. Так как сканер имеет свой собственный IP адрес, устройство также может контролироваться через Интернет. Собранная информация хранится на внутреннем жёстком диске сканера и может передаваться на персональный компьютер (ПК) с помощью сетевого кабеля или передана на внешний жёсткий диск с помощью USB-кабеля.

Для подключения сканера к сети требуется подсоединить прибор с помощью сетевого кабеля к хабу/коммутатору. Затем нужно:

- включить сканер и расширить главное меню (продолжительное нажатие на кнопку 
- выбрать Settings с помощью 
- перевести параметр DHCP client в положение «yes» и подтвердить с помощью кнопки 



- перевести параметр HTTP Server в положение «yes» и подтвердить с помощью кнопки ;

- перезагрузить сканер после изменения параметров;

- в веб-обозревателе выбрать настройки сети (рис. 14);

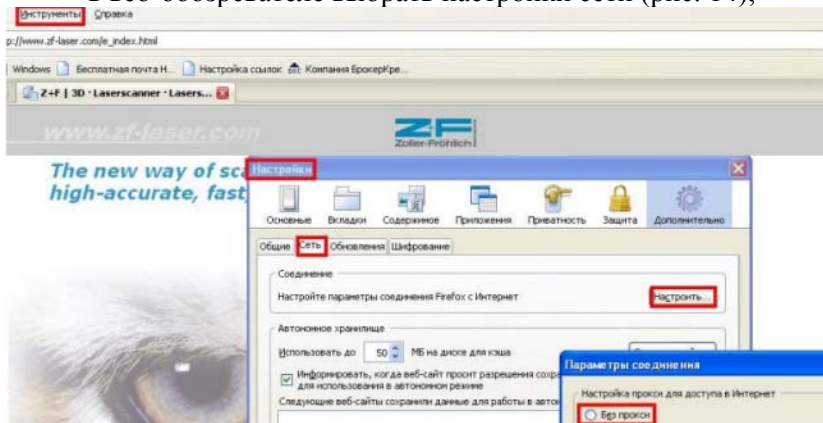



Рис. 14. Настройки сети

- в браузере следует ввести IP адрес сканера в адресную строку;


- в адресной строке проводника, либо браузера набрать *ftp://IP адрес сканера* для отображения информации о всех файлах, хранящихся в корневой папке и подпапках.

Для подключения сканера к ПК, ноутбуку требуется подсоединить прибор с помощью сетевого кабеля. Оно должно автоматически активироваться. В ином случае нужно проверить настройки сети - в свойствах подключения по локальной сети проверить, чтобы стояли галочки в окошках «Получить IP-адрес автоматически» и «Получить адрес DNS-сервера автоматически». Затем нужно:

- включить сканер;

- включить расширенное меню (кнопка  при длительном нажатии)

- выбрать пункт Settings;

- перевести параметр DHCP client в положение «yes» и подтвердить с помощью кнопки ;

- перезагрузить сканер после изменения параметров;

- на ноутбуке получить доступ к информации, хранящейся на сканере через интернет-браузер или через протокол передачи данных FTP (рис. 15).



Рис. 15. Фрагмент окна управления сканером через ПК

### 3. РАБОТА В ПРОГРАММЕ Z+F LASERCONTROL

#### 3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Z+F LaserControl – это программное обеспечение (ПО), предназначенное для управления сканерами производства Zoller + Fröhlich и обработки получаемых облаков точек. В функционал программы входят:

- просмотр данных;
- выполнение измерений в 2D и 3D-пространстве;
- функции фильтрации, позволяющие оптимизировать качество полученного облака точек;
- создание сечений по облаку точек и передачи этих данных в форматах TXT или DXF;
- регистрация облаков точек в проектной системе координат;

- окрашивание облака точек по разным признакам (отстояние от точки съемки, интенсивность, высота);
- наложение фотоснимков на облака точек;
- экспорт облаков точек в различные форматы.

Интерфейс ПО Z+F LaserControl представлен на рис. 16.

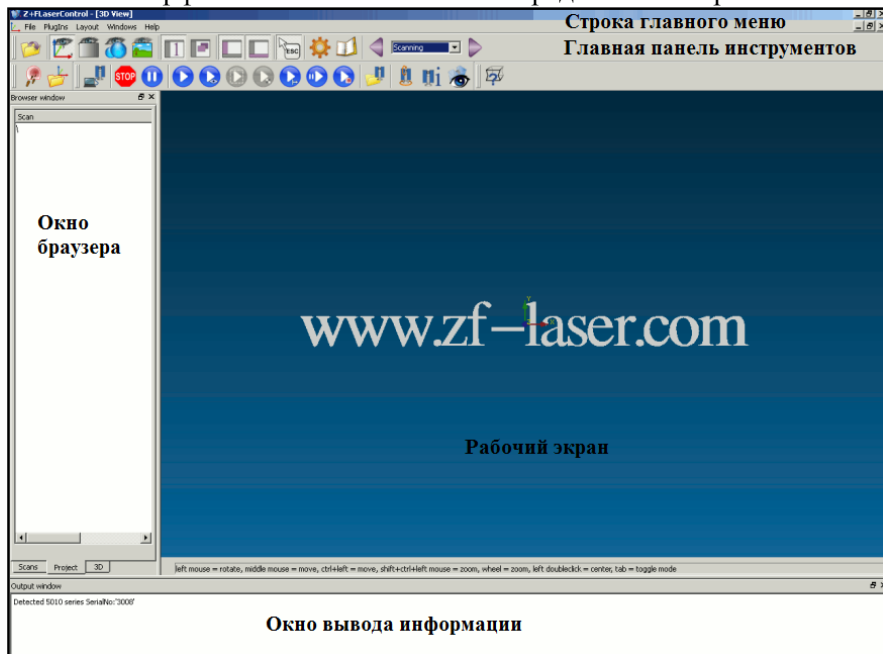


Рис. 16. Интерфейс ПО Z+F LaserControl

Главная панель инструментов содержит ряд функциональных кнопок, суть операций которых представлена в таблице 3.

Таблица 3

### Функции главной панели инструментов

Значок	Функция	Описание
	Открыть файл	Возможность открыть любой поддерживаемый файл
	Обзор	Переключение в окно обзора
	Вид 3D	Переключение в окно 3D
	2D/Bubble view	Переключение в вид 2D/вид "Пузырь"
	Просмотр изображений	Переключение в окно просмотра изображений (PNG, JPG, BMP)
	Единое окно	Открытие/ скрытие вида в едином окне
	Несколько окон	Открытие/ скрытие вида в нескольких окнах
	Окно браузера	Открытие/скрытие окна браузера
	Окно вывода информации	Открытие/скрытие окна вывода информации
	Уйти	Отключение остальных режимов
	Опции	<p>Определение следующих параметров:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ввод лицензии;</li> <li>- Открытие файлов;</li> <li>- 2D-вид;</li> <li>- 3D-вид;</li> <li>- Активация / деактивация плагинов;</li> <li>- Установка параметров плагина.</li> </ul>
	Справочное руководство	Открытие справочного руководства
	Рабочий процесс: предыдущий, следующий или выбор из списка	Выбор рабочего процесса

Панель инструментов отвечающих за обзор, вызывается через контекстное меню. Некоторые кнопки также доступны на панели управления справа или слева. Суть операций представлена в таблице 4.



Таблица 4

### Функции панели обзора

Значок	Функция	Описание
	Обзор параметров проекта	Возможность настроить параметры выбранного проекта
	Отмена	Возможность отменить последнее действие
	Домой	Просмотр полного экстенда
	Увеличить	Возможность увеличения сцены
	Уменьшить	Возможность уменьшения сцены
	Выбор области сканирования	Возможность выделить выборку ТЛО
	Переместить вид	Возможность перемещения вида

## 3.2 ОТОБРАЖЕНИЕ ДАННЫХ В Z+F LASERCONTROL

### 3.2.1 3D-ВИД

В этом режиме ТЛО отображаются в трехмерном пространстве (рис. 17). Обычно в начале открывается сканирование в 2D-виде. Затем можно отобразить весь массив точек или выборку в трехмерном пространстве. В 3D-вид можно загрузить несколько выборок с разных сканов.

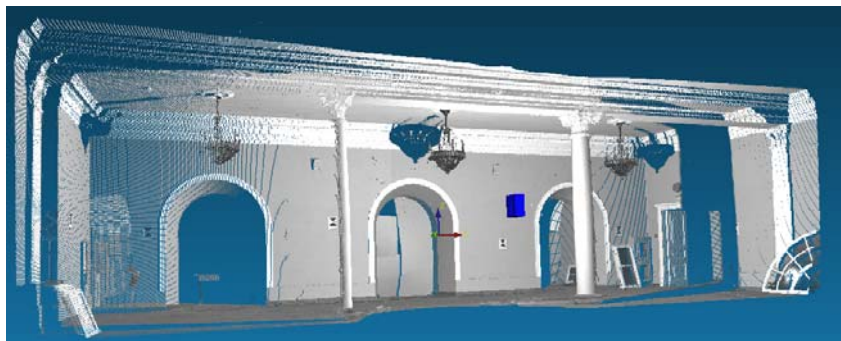


Рис. 17. Отображение ТЛО в трехмерном пространстве ПО Z+F LaserControl

Для удобной навигации можно использовать варианты из таблицы 5 через контекстное меню и комбинации клавиш из таблицы 6.

Таблица 5

#### Варианты навигации в 3D-виде



Значок	Функция	Описание
	Режим выделения	Позволяет выполнять измерения в 3D
	Режим полета	Позволяет перемещать облако точек или устанавливать точки вращения дважды щелкнув по нему

Таблица 6

#### Навигация в 3D-виде

Сочетание клавиш и мыши	Действие
Левая кнопка мыши	Вращать
Средняя кнопка мыши	Двигаться
Правая кнопка мыши	Меню
Shift + левая кнопка мыши	Двигаться
Ctrl + средняя кнопка мыши	Зум
Shift + Ctrl + левая кнопка мыши	Зум
Колесико прокрутки	Зум
+	Приблизиться к сохраненному виду
-	Отдалиться от сохраненного вида
s	К центру
X, Y, Z	Поворот
Ctrl + X, Y, Z	Плавный поворот








В нижней части окна 3D-вида расположена панель  с рядом функций (таблица 7).

Таблица 7

### Панель инструментов в 3D-виде

Значок	Функция	Описание
	Плоскость X	Смотреть на сцену в 3D при виде спереди
	Плоскость Y	Смотреть на сцену в 3D при виде справа
	Плоскость Z	Смотреть на сцену в 3D при виде сверху
	Вид камеры	Переключение между ортогональным и перспективным видами
	Каркасный вид	Показывать каркас в случае наличия сетки
	Просмотреть все	Установить направление вращения для всего вида





При открытии контекстного меню можно вызвать дополнительные функции (таблица 8).

Таблица 8

### Дополнительные функции контекстного меню

Значок	Функция	Описание
	Установить точку вращения	Возможность выбрать новую точку вращения.
	Размер ТЛО	Возможность выбрать один из пяти фиксированных размеров ТЛО, а если этого недостаточно, то нужно задать размер в диалоговом окне
	Уменьшение плотности ТЛО	Возможность изменить плотность точек для всего скана или выборки
	Увеличение плотности ТЛО	Возможность изменить плотность точек для всего скана или выборки
	Очистить все	Возможность удалить все ТЛО с экрана

**Продолжение таблицы 8**

	Сохранить трехмерные данные в файл	Возможность сохранить 3D-данные в формат vmtl
	Сохранить трехмерные данные для печати	Возможность сохранить 3D-данные в формат jpg
	Автоматическое вращение	Возможность сохранить облако точек в движении
	Вид стерео	Возможность получения стереоизображения при наличии специальных очков

**3.2.2 2D-ВИД И ВИД BUBBLE**

В этом режиме можно отобразить точки в панорамном виде (рис. 18) по диапазону расстояний, по интенсивности отраженного сигнала и т.д.



Рис. 18. Отображение ТЛО в 2D-виде

Здесь много полезных функций для отображения данных, наложения масок, масштабирования и прочего.




При открытии диалогового окна  «Options» и переключения на «2D view» можно выбрать, в каком виде будут открываться сканы. При выборе «Open as bubble view» результатом запуска файла будет его отображение в объемном виде вместо панорамного (рис. 19).



Рис. 19. Отображение фрагмента скана в Bubble view

Для удобной навигации можно использовать комбинации клавиш из таблицы 9.

Таблица 9

### Навигация в 2D-виде




Сочетание клавиш и мыши	Действие
Курсор мыши	перемещение
Ctrl+курсor мыши	Перемещение курсора мыши. Вы можете перемещать курсор очень точно к объекту. Если это не работает, пожалуйста, нажмите кнопку Панорамный вид для установки фокуса с клавиатуры
Page up или +	Увеличение изображения / Масштаб
Page down или -	Уменьшение изображения / Масштаб

Функции панели инструментов, сопровождающих окно 2D/Bubble view представлены в таблице 10.

Таблица 10

**Функции панели инструментов окна 2D/Bubble view**







Значок	Функция	Описание
	Закреть	Возможность закрыть панорамный вид
	Сохранить / Экспорт	Возможность сохранить или экспортировать скан в обменный формат
	Режим просмотра	Возможность выбрать режим просмотра: - линейный; - оптимизированный; - компенсированный; - цветной; - направленный; - радуга.
	Цвет	Возможность показать RGB, если скан цветной (отображается по умолчанию)
	Режим выбора	Возможность выбрать фрагмент облака ТЛО
	Точки в 3D	Возможность загрузить точки в 3D с выбором минимальной интенсивности, диапазона, маски и т.д.
	Матрица	Возможность установить матрицу указателя мыши (1*1, 3*3, 5*5, 7*7, 9*9)
	Мировые (проектные) координаты	Мировые (проектные) координаты в случае, если скан зарегистрирован. Если в строке состояния подписано <i>W</i> – мировые координаты, а без <i>W</i> – координаты отдельной станции
	Увеличение	Приближение к ТЛО

	Уменьшение	Удаление от ТЛЮ
	Окно масштабирования	Возможность вывести окно масштабирования в углу экрана
	Вид Bubble	Отображение объемного вида скана и возврат в режим панорамного изображения

Дополнительные свойства контекстного меню окна 2D представлены в таблице 11.

Таблица 11

### Дополнительные свойства контекстного меню окна 2D

Значок	Функция	Описание
	Перевод в 3D	Переключить выбор в 3D
	Весь скан в 3D	Загрузить весь скан в 3D
	Опции скана	Возможность просмотреть матрицу регистрации скана
	Перекрасить	Перекрасить вид, если нет корректного отображения
	Очистить все 2D объекты	Очистить объекты в окне
	Вид масок	Переключение между отображением масок

Значения в строке состояния обновляются автоматически в зависимости от положения курсора. Отображаются показатели, представленные в таблице 12.

Таблица 12

### Показатели строки состояния

Показатель	Значение
1:4	Масштаб
Col ... Row ...	Положение курсора в строке и столбце
Range ...	Расстояние, измеренное от сканера до ТЛЮ
Reflection ...	Интенсивность отраженного сигнала
Vert (Elev) ... Honiz (Azim) ...	Значения углов в вертикальной и горизонтальной плоскостях

W xyz ... Xyz ...	Прямоугольные координаты ТЛО. В случае символа W отображаются мировые (проектные) координаты, в противном случае - локальные координаты в системе координат прибора.
----------------------	--

### 3.2.3 ВИД ИЗОБРАЖЕНИЯ

Вид доступен в случае использования изображений (bmp, tiff). Функции используемых панелей инструментов представлены в таблице 13.

Таблица 13

#### Функции панели инструментов окна вида изображений

Значок	Функция	Описание
	Закрыть	Возможность закрыть выбранное изображение
	Сохранить изображение	Возможность сохранить измененное изображения
	Сохранить как	Возможность сохранить изображение, как новое
	Выбор	Возможность выбора области изображения
	Автомасштабирование	Возможность вписать изображение в окно
	Масштабирование изображения	Возможность увеличить / уменьшить изображение
	Окно масштабирования	Показать окно масштабирования в углу. Левая кнопка мыши для масштабирования

	Осветление	Возможность осветлить изображение
	Затемнить	Возможность затемнить изображение

### 3.3 ДИАЛОГОВОЕ ОКНО ОПЦИЙ

В диалоговом окне опций можно проверить статус лицензии, активировать ее и установить основные параметры (рис. 20).

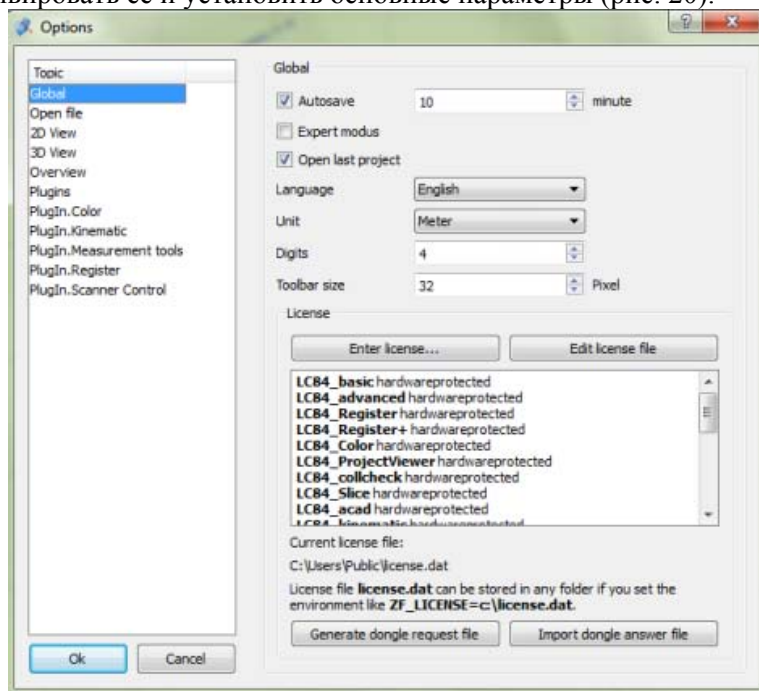


Рис. 20. Диалоговое окно опций

Можно переключаться между различными типами параметров по щелчку мыши (таблица 14).



	Сканирование с предварительными параметрами	Начать сканирование с predetermined параметрами
	Сканирование	Сканирование в файл
	Обзорное сканирование	Выполнение предварительного сканирования
	Область сканирования	Сканирование выбранного диапазона
	Сканирование марок	Отдельное сканирование специальных марок с высоким разрешением
	Сканирование с точки	Сканирование с текущей позиции
	Перезапуск сканирования	Повторное сканирование после паузы
	Профилограф	Сканирование в режиме профилографа
	Менеджер загрузок	Доступ к папкам и файлам, загрузка скана или проекта
	Мотор	Переход к позиции, ее настройка
	Информация	Информация об ошибках сканера, его ПО и предупреждениях

### 3.5 ФИЛЬТРАЦИЯ ТЛО

Результат НЛС содержит миллионы точек лазерных отражений. При этом большинство из них могут получаться с различной степенью достоверности результата, поэтому фильтрация приводит к ускорению и повышению качества процесса дальнейшей обработки сканов. Функции фильтрации позволяют оптимизировать качество полученного облака точек. Z+F LaserControl создает маску для

каждого фильтра, которая маркирует отфильтрованные точки другим цветом (рис. 21).

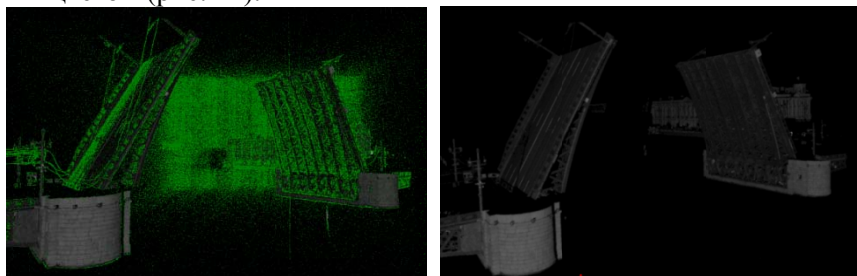


Рис. 21. Облако точек до и после фильтрации

Тем не менее, указанные операции не удаляют точки. В таблице 16 представлен функциональный набор основных фильтров программы Z+F LaserControl. Каждый из них может быть настроен индивидуально.

Таблица 16

### Фильтры ПО LaserControl

Значок	Функция	Описание
	Фильтр предварительной обработки	Фильтр применяется для всей области сканирования или проекта. Точки не будут удалены, будут созданы только маски.
	Фильтр смешанных пикселей	Удаление смешанных ТЛО. Этот фильтр будет маскировать точки, которые находятся на краях и, следовательно, не действительны. ТЛО не удаляются, вместо этого накладываются маски.
	Фильтр интенсивности	Маскирует ТЛО ниже минимальной и выше максимальной указанной интенсивности. ТЛО не удаляются, вместо этого накладываются маски.
	Фильтр диапазона	Маскирует ТЛО, которой нет в выбранном диапазоне расстояний.



**Продолжение таблицы 16**







	<p>Тонкий фильтр</p>	<p>Простой фильтр для получения одинаковой плотности. Алгоритм фильтра работает только в одной строке.</p>
	<p>Фильтрация зеркальных областей на скане</p>	<p>Фильтр позволяет задать правильную позицию для точек, расположенных в неверной позиции из-за наличия поверхностей с высокой степенью отражения расположив их на поверхности отражения.</p>
	<p>Гладкий фильтр</p>	<p>Фильтр сглаживает диапазон данных, но ухудшает границы. Стоит использовать только в том случае, если это необходимо.</p>
	<p>Комбинирование сканов</p>	<p>Фильтр позволяет сравнить два скана и объединить их в один, что позволяет удалять движущиеся объекты из скана. Однако сканы должны быть сделаны с одной точки стояния прибора и должны иметь одинаковые настройки сканирования.</p>
	<p>Однопиксельный фильтр</p>	<p>Этот фильтр следует использовать после применения фильтра смешанных ТЛО, чтобы удалить отдельные точки, которые могли быть оставлены предыдущим фильтром. ТЛО также не удаляются, на них накладываются маски.</p>

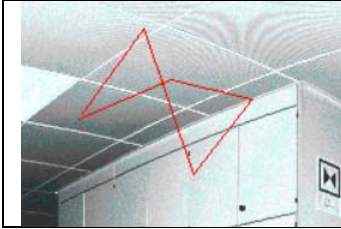
**3.6 РАБОТА С МАСКАМИ**

Чтобы скрыть отдельные фрагменты облаков точек в ПО Z+F LaserControl реализованы функции создания масок (таблица 17).

Таблица 17

## Маски ПО LaserControl

Маска	Описание
	<p>В данном случае маска создается с использованием прямоугольного выбора. Сначала выбирается область скана, которую требуется замаскировать, а затем нажимается кнопка</p>  <p>Можно добавить несколько масок одновременно путем удержания те клавишу shift и выбора нужных областей.</p>
	<p>В данном случае удаляется фрагмент существующей маски. После выбора области нужно нажать</p> 
	<p>В данном случае показан результат использования кнопки</p> 



Если для создания маски используется полигон, то важно контролировать, чтобы он не был самопересекающимся.

### 3.7 РЕГИСТРАЦИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК

Регистрация (сшивка, внешнее ориентирование) необходима, когда облака точек, полученные с различных станций, требуется связать в одной системе координат. В современной практике подобных работ она может выполняться с помощью набора сканерных марок, пространственное положение которых известно в системе координат сканера и некоторой другой (проектной) системе координат, либо с помощью дополнительных устройств, включенных в конструкцию прибора (ГНСС-приемники, датчики наклона и т.д.). В ряде случаев нет необходимости приводить результирующую точечную модель к проектной системе координат. Тогда можно осуществить регистрацию нескольких облаков ТЛО по аналогии формы перекрывающихся фрагментов, реализуя безмарочную сшивку сканов.

Преобразование координат точек из одной системы координат в другую описывается следующим общепринятым соотношением (1):

$$\begin{bmatrix} X_{вн} \\ Y_{вн} \\ Z_{вн} \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $X_{вн}$ ,  $Y_{вн}$ ,  $Z_{вн}$  – координаты точек скана в внешней системе координат;

$X$ ,  $Y$ ,  $Z$  – координаты точек скана в системе координат сканера;

$X_0, Y_0, Z_0$  – координаты начала системы координат  $OXYZ$  скана во внешней системе  $OX_{вн}Y_{вн}Z_{вн}$ ;

$A$  – матрица направляющих косинусов, определяющих ориентацию системы координат  $OXYZ$  относительно  $OX_{вн}Y_{вн}Z_{вн}$ , которая в общем случае имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $a_1, a_2, a_3, \dots, c_3$  – направляющие косинусы, являющиеся функциями углов Эйлера  $\varepsilon, \eta, \zeta$ .


Для удобства вычислений можно объединить матрицы сдвига и разворота, выражая все необходимые трансформации в виде:

$$\begin{bmatrix} X_{вн} \\ Y_{вн} \\ Z_{вн} \end{bmatrix} = M_{SOP} \cdot P_{НОМ}, \quad (3)$$

где  $M_{SOP}$  – стандартная матрица трансформированных координат, используемая в программировании:

$$M_{SOP} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & X_0 \\ b_1 & b_2 & b_3 & Y_0 \\ c_1 & c_2 & c_3 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Таким образом, для каждого скана должно производиться 6 последовательных трансформаций. Точность выполнения данных операций для каждого скана влияет на окончательную точность построения итоговой цифровой точечной модели.

Перечень функций для регистрации сканов представлен на панели 

Функции приведены в таблице 18.

Таблица 18

**Функции панели регистрации облаков точек в ПО  
Z+F LaserControl**

Значок	Функция	Описание
	Опознанные марки	Перечень опознанных марок
	Найти цели Z+F в автоматическом режиме	Возможность найти все марки Z+F во всех сканах проекта автоматически. Поддерживается для приборов Z+F Imager 5006 и более поздних версий
	Подходящие марки	Возможность выбрать марку в ручном режиме и указать ее номер (имя)
	Использование точки в качестве марки	Возможность выбора в качестве марки любой точки скана в ручном режиме и указание ее номера (имени)
	Сфера	Возможность выбрать в качестве марки центр сферы и указать ее номер (имя)
	Отметить известные марки	Возможность отметить известные марки в 2D-окне. После третьей вы увидите остальные марки, отмеченные желтым цветом.
	Список марок	Возможность просмотреть все марки
	Предварительная регистрация сканов	Возможность рассчитать параметры предварительной регистрации для выбранных позиций сканирования. Требуется выбрать как минимум две позиции в окне обзора
	Регистрация проекта	Возможность рассчитать параметры трансформации для всех сканов в рамках проекта

**Продолжение таблицы 18**

	Регистрация «Облако к облаку»	Возможность выполнить регистрацию соседних сканов по перекрытиям.
	Регистрация «Плоскость к плоскости»	Возможность выполнить регистрацию сканов по идентичным плоскостям.
	Отчет о регистрации	Возможность отследить качество регистрации сканов
	Информация о регистрации	Возможность увидеть результаты регистрации отдельных сканов
	Система координат	Возможность определить систему координат проекта
	Отображение марок в 2D	Возможность отобразить марки в 2D
	Отображение марок в 3D	Возможность отобразить марки в 3D
	Позиции сканера	Возможность показать станции сканера на экране 3D
	Позиции сканера в 2D	Возможность показать станции сканера на экране 2D
	Загрузка и отображение данных с тахеометра в 3D	Возможность показать станции тахеометрии
	Просмотр всех зарегистрированных сканов в 3D	Возможность отобразить все зарегистрированные сканы в 3D в разных цветах
	Создание поэтажного плана	Возможность создать выборку со всех зарегистрированных сканов для создания плана

После интеграции файлов в проект следует отметить все сканерные марки, отобразившиеся на облаках точек, если они использовались. Общим условием ведения работ по НЛС является закрепление марок в зонах хорошей видимости и недоступность для смещения посторонними лицами. В основе их дешифрирования на сканах лежат два основных принципа - определение геометрического центра плоской фигуры, однозначно контрастирующей с окружающими поверхностями (плоские сканерные марки) или определение центра геометрической фигуры известной формы и/или размеров (объемные сканерные марки). Объемные марки используются для определения с любой стороны (рис. 22).

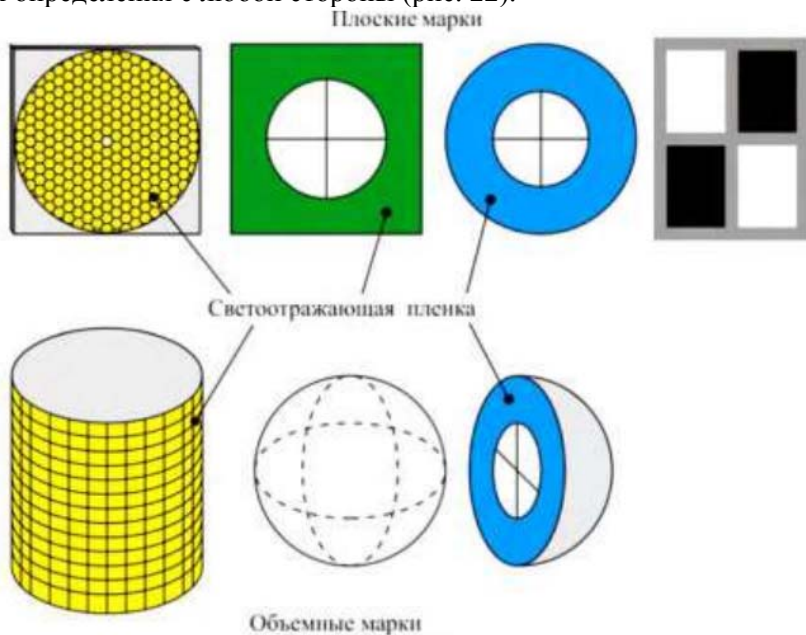



Рис. 22. Виды сканерных марок

При нажатии кнопки  можно примерно указать центр плоской сканерной марки (желательно использовать для этого окно зума). Алгоритм поиска при этом определит точное положение центра марки (рис. 23).

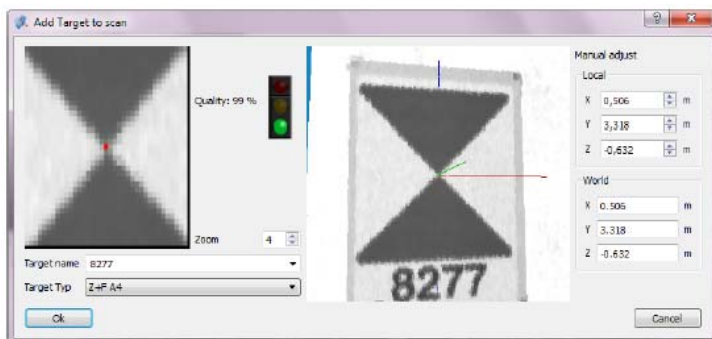


Рис. 23. Дешифрирование плоских марок

По умолчанию алгоритм настроен на поиск марок типа Z+F формата A4. Также можно изменить тип на Z+F A5. Если позиция марки определена, можно ввести ее имя.

При нажатии кнопки  можно указать точку скана, которая будет использоваться в качестве цели (рис. 24).

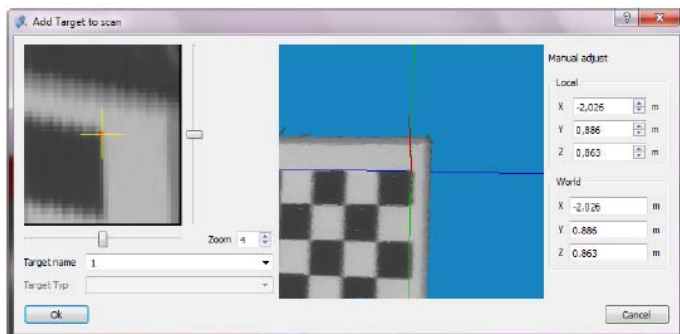



Рис. 24. Использование точки в качестве цели

Красная точка указывает, где находится следующий отсканированный пиксель, желтый крестик показывает предложение программы. Регулировка коэффициента масштабирования позволяет оценить положение визуально. Область вокруг марки также отображается в 3D-окне. Если положение, предложенное программой, не



подходит должным образом, его можно настроить при помощи пол- лос прокрутки. Кроме того, следует ввести имена марок.

При нажатии кнопки  можно определить центр объемной сферической сканерной марки (рис. 25).

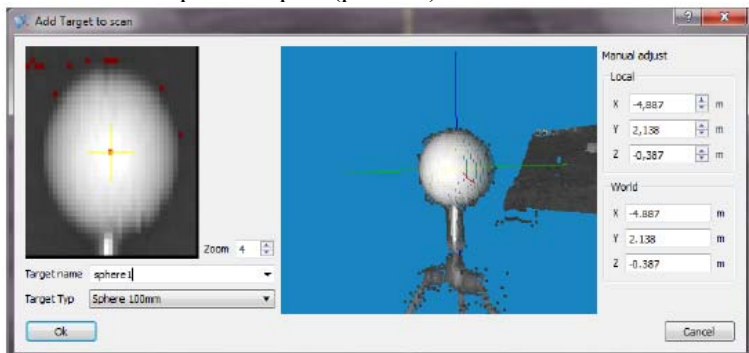



Рис. 25. Определение сферы

Диаметр сферы может быть выбран в окне редактирования (стандартный диаметр может быть определен в диалоговом окне настроек).

Для регистрация проекта с целями запускается мастер реги- страции через нажатие на кнопку  (рис. 26).

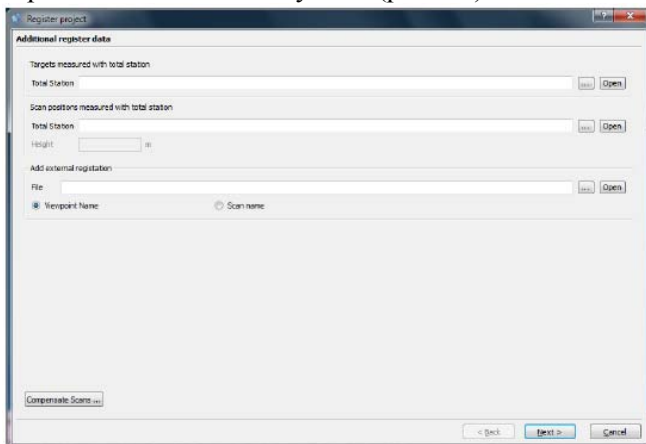


Рис. 26. Окно регистрации проекта по маркам

В этом окне можно выбрать файл с проектными значениями координат сканерных марок. Отчет о регистрации представлен на рис. 27.

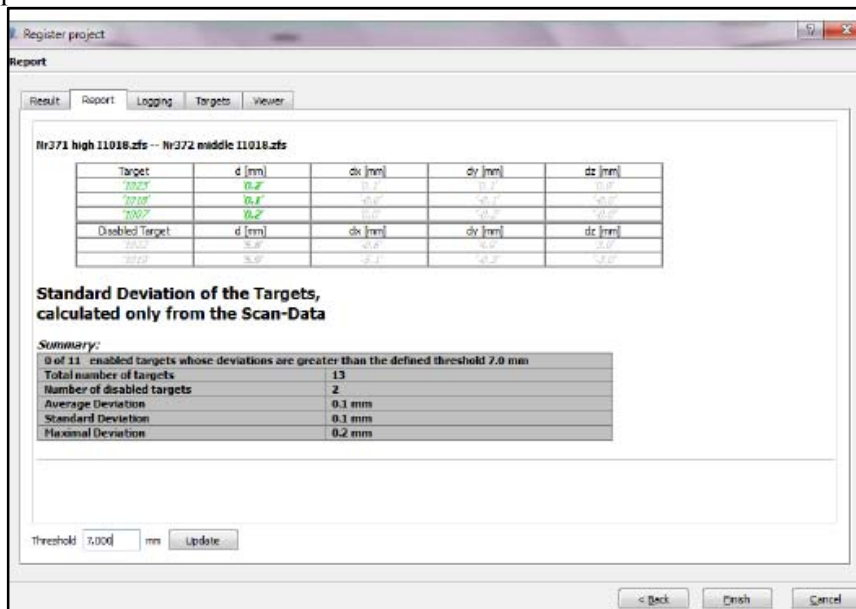


Рис. 27. Отчет о регистрации проекта по маркам

### 3.8 ИЗМЕРЕНИЯ ПО ОБЛАКАМ ТОЧЕК В Z+F LASERCONTROL

Инструменты измерений по облакам точек в рабочем процессе собраны на панели




.Функции приведены в таблице 19.

Таблица 19

### Функции измерений по облакам точек в ПО Z+F LaserControl

Значок	Функция	Описание
	Слои	Возможность управления слоями (установки активного слоя, добавления и удаления)
	Очистка	Очистка всех результатов измерений в активном слое
	Отмена	Отмена последнего измерения
	Измерение	Измерение расстояния между начальной точкой и последней выбранной
	Измерение между целями	Установка целей и использование их в качестве точек для измерений
	Угол 90 градусов	Возможность измерения прямых углов
	Сохранение выбранных точек	Сохранение выбранных точек в формате TXT или DXF
	3D-сетка	Возможность отображения сетки в 3D-окне
	Установка маркера	Возможность установить маркер нажатием на скан
	Отображение маркера в 3D	Возможность отобразить маркер в 3D-окне
	Управление ссылками	Показ всех ссылок проекта, их создание и удаление
	Открытие ссылки	Возможность открыть ссылочный источник
	Добавление связи	Возможность добавить ссылочный источник

### 3.9 СОЗДАНИЕ СЕЧЕНИЙ ПО ТЛО В ПО Z+F LASERCONTROL

Создание сечений облаков точек осуществляется с помощью кнопки . В всплывающем окне (рис. 28) требуется нажать *Далее*.

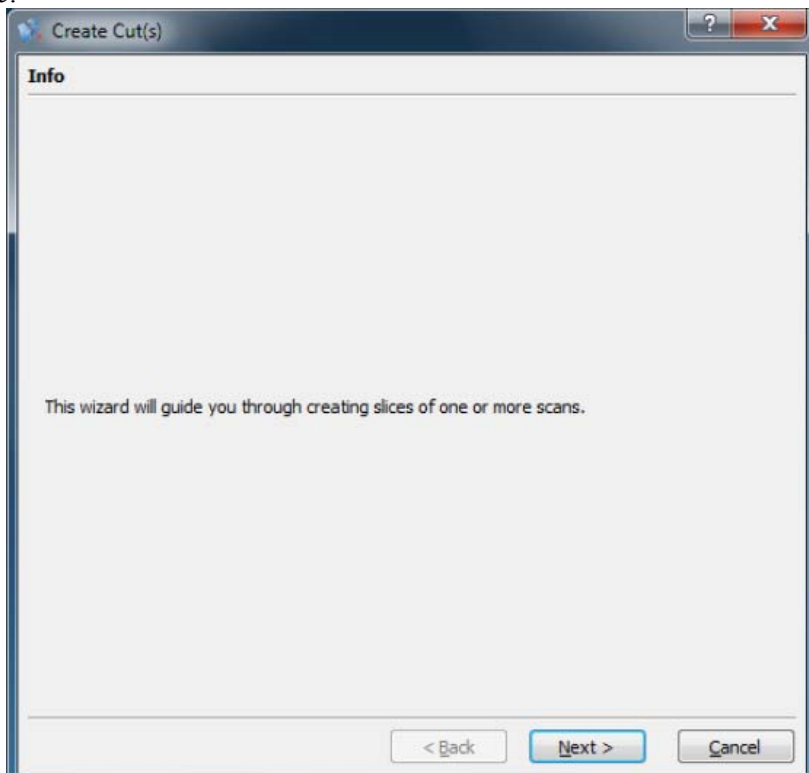


Рис. 28. Начальное окно создания сечений

В следующем окне можно добавить несколько сканов путем нажатия на кнопку *Добавить* (сканы не должны быть открытыми). Нажав на *Добавить проект* вы добавите все сканы этого проекта (проект должен быть открытым). Когда *Загрузка сканов* включена, сканы будут загружаться и в 3D.

Далее можно указать, как должны пройти секущие плоскости. На рис. 29 показаны параметры сечения, которые генерируются, если вы зададите точку и вектор нормали в соответствующие поля X, Y, Z. Если вы хотите создать разрезы вдоль оси, вы можете использовать кнопки со стрелками. Или вы можете выбрать кнопку инструмента плоскости, чтобы запустить другое окно, которое поможет создать вектор нормали и точку.

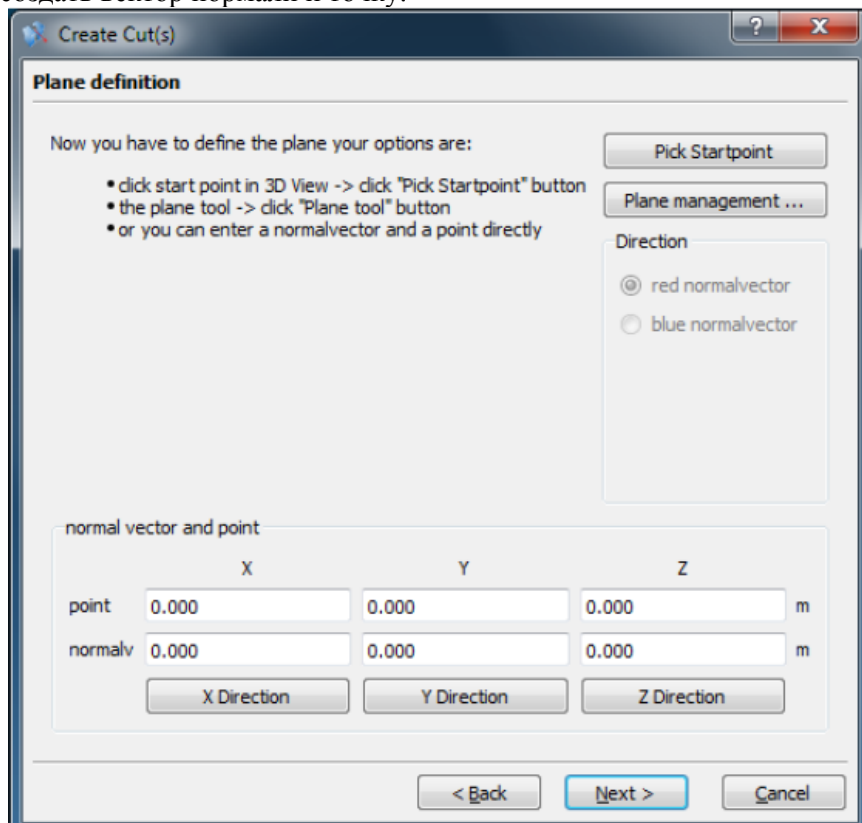


Рис. 29. Настройка параметров сечения

При включении группы будет создано несколько разрезов. В примере на рис. 30 разрез выполняется через каждый метр до высоты 10 метров.

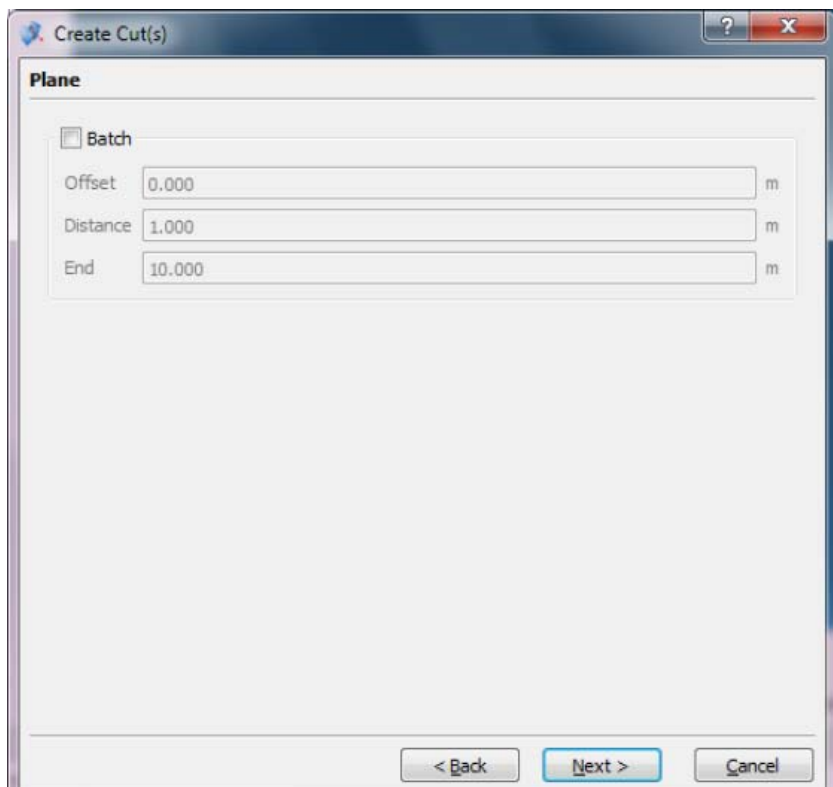


Рис. 30. Создание нескольких сечений

В следующем окне (рис. 31) можно определить максимальное расстояние до обрабатываемых точек от сканера. Кроме того, задается толщина сечения, так как редко бывает, что отсканированные точки помещаются непосредственно в ту выборку, которую вы хотели получить. Например, для сечения на высоте 1 метр можно использовать полосу 2 см (сечение будет состоять из ТЛЮ, координаты Z которых от 0,98 м до 1,02 м). Еще требуется выбрать, каждая ли точка сохраняется в сечение, а также параметры фильтрации.

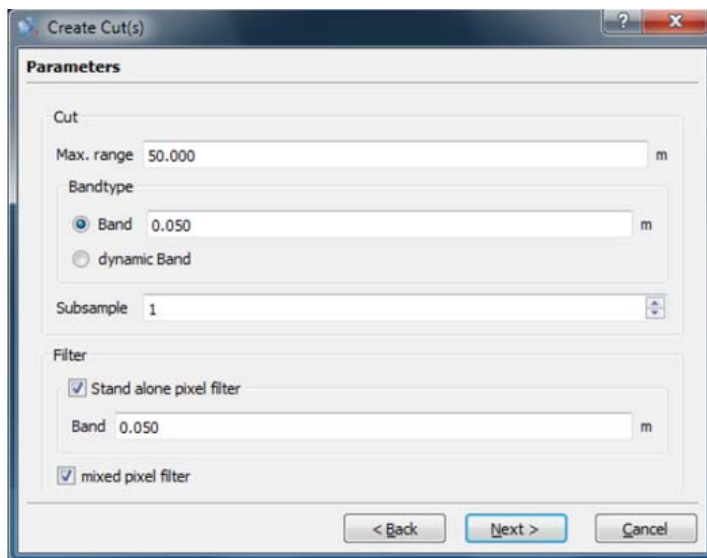


Рис. 31. Окно настройки сечения

Если вы хотите сохранить результат, введите имя файла и выберите формат TXT или DXF (рис. 32).

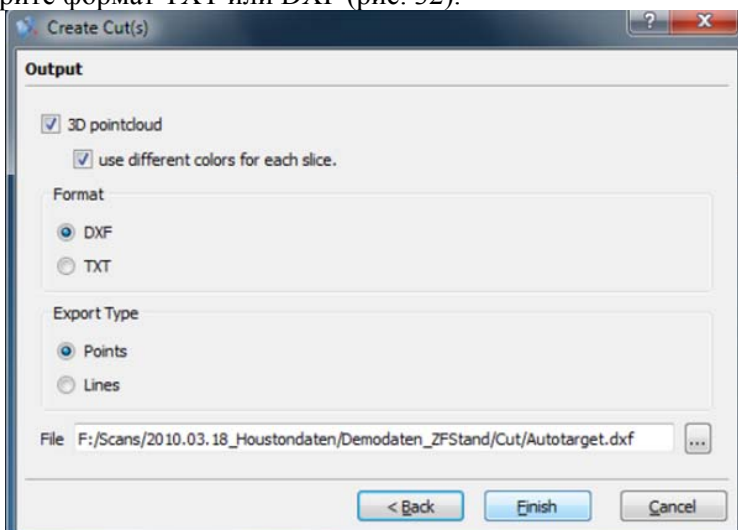



Рис. 32. Окно сохранения точек сечения

### 3.10 ЭКСПОРТ ТЛО ИЗ ПО Z+F LASERCONTROL

Для сохранения характерных точек (марок) следует открыть диалоговое окно «Сохранить отмеченные точки»  (рис. 33,34). В нем требуется указать формат экспортируемых данных и установить необходимые значения для сохранения ТЛО, после чего нажать **Start** [Начать] для создания файла. Выход из диалога осуществляется при помощи **Exit** [Выход].

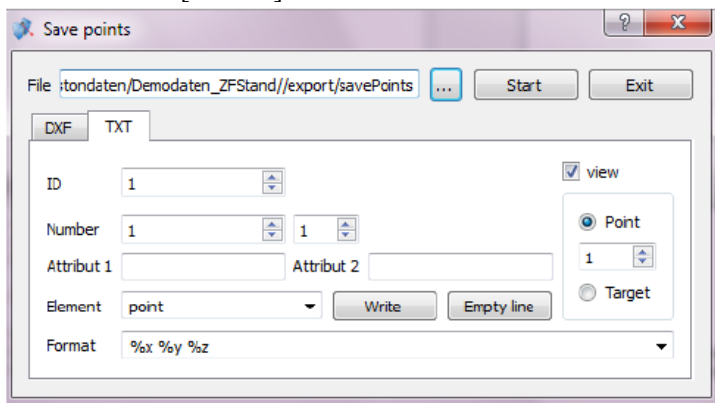


Рис. 33. Экспорт точек в TXT

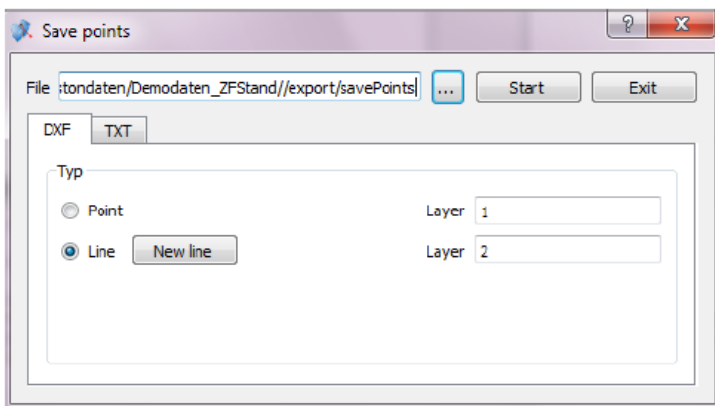


Рис. 34. Экспорт точек в DXF



Для того чтобы результаты наземного лазерного сканирования успешно экспортировать в сторонние программы возникает необходимость преобразования облаков точек. В ПО реализованы возможность экспорта данных (рис. 35).

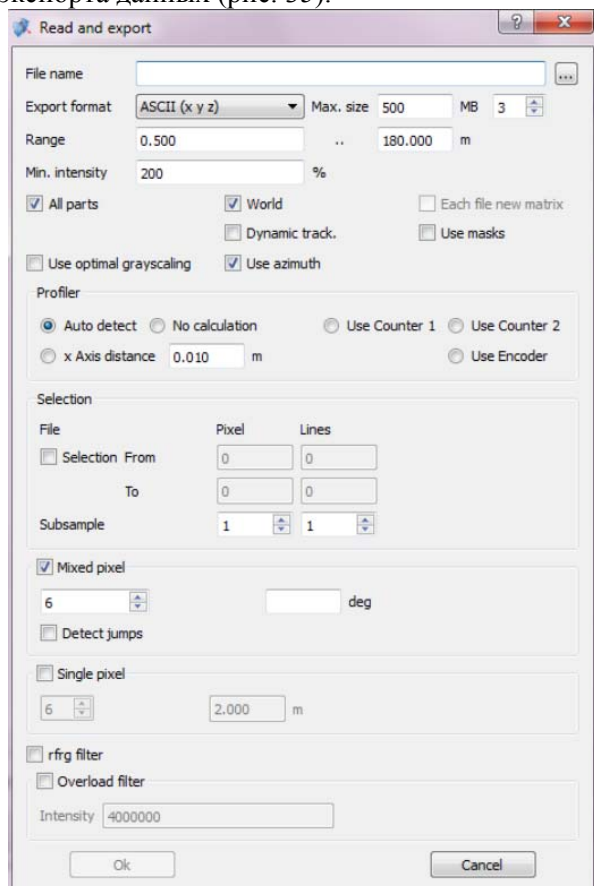


Рис. 35. Окно экспорта данных в обменные форматы

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев, В.Н.* Основы наземной лазерно-сканирующей съемки [Текст]: Учеб. пособие / В.Н.Гусев [и др.]. – СПб.: Санкт-Петерб. гос. горн. ин-т., 2007. – 86 с.
2. *Медведев Е.М.* Лазерная локация земли и леса: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Е.М. Медведев [и др.]. - М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
3. *Середович В.А.* Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович [и др.]. - Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
4. User manual Imager 5006 [Текст]. – Zoller + Fröhlich GmbH. – 108 с.
5. User manual Z+F LaserControl [Текст]. – Zoller + Fröhlich GmbH. – 2013. – 124 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Основные сведения о наземном лазерном сканировании.....	4
2. Наземный лазерный сканер Z+F IMAGER 5006.....	7
2.1 Характеристики наземного лидара Z+F Imager 5006.....	7
2.2 Работа с лидаром Z+F Imager 5006.....	9
2.2.1 Установка прибора.....	9
2.2.2 Условия внешней среды.....	10
2.2.3 Элементы управления.....	10
2.2.4 Связь.....	15
3. Работа в программе Z+F LASERCONTROL.....	17
3.1 Общие сведения о программном обеспечении.....	17
3.2 Отображение данных в Z+F LaserControl.....	20
3.2.1 3D-вид.....	20
3.2.2 2D-вид и Вид Bubble.....	23
3.2.3 Вид изображения.....	27
3.3 Диалоговое окно опций.....	28
3.4 Подключение лидара через ПО для сканирования.....	29
3.5 Фильтрация ТЛО.....	30
3.6 Работа с масками.....	32
3.7 Регистрация облаков точек.....	34
3.8 Измерения по облакам точек в Z+F LaserControl.....	41
3.9 Создание сечений по ТЛО в ПО Z+F LaserControl.....	43
3.10 Экспорт ТЛО из ПО Z+F LaserControl.....	47
Рекомендуемая литература.....	49

# **ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ Z+F LASERCONTROL ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.01*

Сост. *В.А. Вальков, К.П. Виноградов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *В.А. Вальков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 02.06.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,9. Усл.кр.-отт. 2,9. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 75 экз. Заказ 524.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2