

## ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ DR ДЛЯ ГЕОДЕЗИСТОВ И ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ

R. HÖGLUND и P. LARGE

TRIMBLE SURVEY, WESTMINSTER, COLORADO, USA

### ВВЕДЕНИЕ

*Появление безотражательных электронно-оптических дальномеров произвело революцию в топографо-геодезической съемке, позволив выполнять измерения расстояний по новой технологии (DR) без использования отражающих целей или призм.*

*Безотражательный дальномер позволяет геодезистам точно определить расстояние до удаленного объекта без необходимости установки призмы непосредственно в измеряемой точке.*

*Измерения без отражателя открыли новые возможности съемки с одним исполнителем, существенно увеличив производительность и качество его работы и повысив уровень личной безопасности.*

*Объединив возможности безотражательной технологии с роботизированными тахеометрами производительность съемки одним исполнителем возрастет еще больше.*

*В настоящий момент в безотражательных системах используются электронные дальномеры двух типов: импульсные дальномеры, основанные на принципе непосредственного измерения времени прохождения сигнала до цели и обратно, и фазовые дальномеры, работающие по методу определения разности фаз сигналов. Поскольку в тахеометрах серии Trimble S6 применяется как импульсный DR300+, так и фазовый дальномер DR Standard, то Trimble в состоянии предложить геодезистам любую технологию по их выбору.*

*Каждый метод измерений предназначен для решения конкретных задач и используется в различных приложениях. Целью данной статьи является описание каждого метода, сравнение их достоинств и недостатков для того, чтобы помочь вам выбрать тот метод, который наилучшим образом подойдет для вашей работы.*

**Адрес Trimble: Trimble Engineering & Construction Group, 5475 Kellenburger Road, Dayton, OH 45424, USA**

## DR ТЕХНОЛОГИИ: ИМПУЛЬСНЫЙ И ФАЗОВЫЙ ДАЛЬНОМЕРЫ

Электронное измерение расстояния без отражателя может быть произведено любым из двух методов: с помощью определения времени прохождения сигнала или определения разности фаз. Метод определения времени прохождения сигнала реализован в дальномере DR300+, в котором используется импульсный лазер. Метод определения разности фаз лежит в основе дальномера DR Standard.

Как показано на Рисунке 1, оптические схемы каждого из методов различны, имея свои преимущества и недостатки.

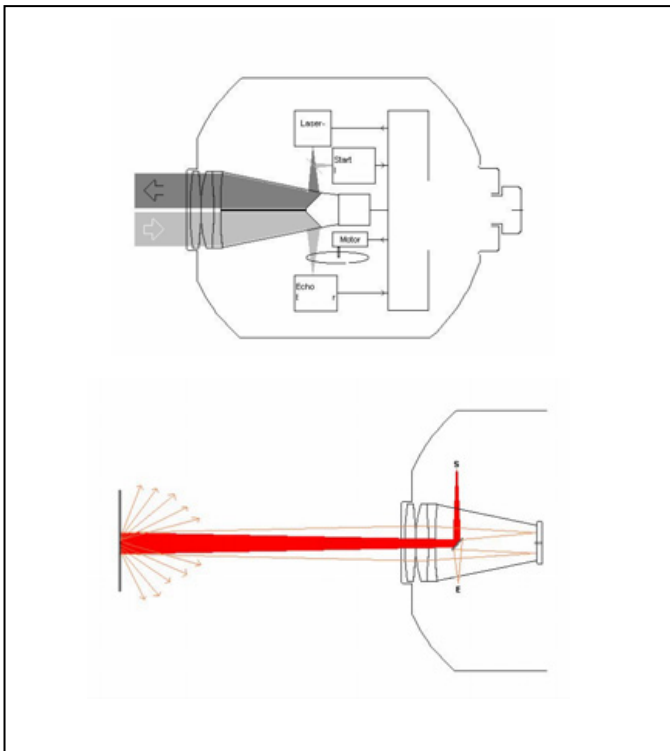


Рисунок 1: Оптические схемы импульсного (вверху) и фазового (внизу) дальномеров.

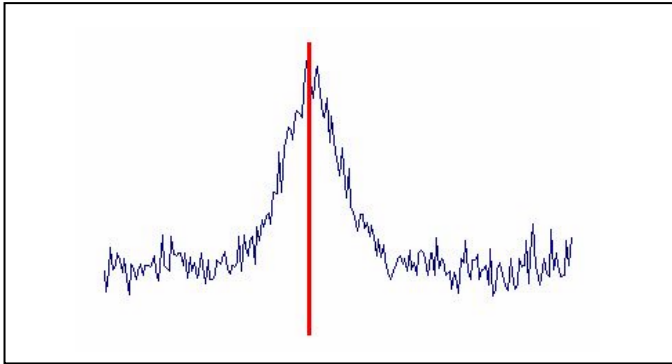
### ИМПУЛЬСНЫЙ ДАЛЬНОМЕР

Для вычисления расстояний в импульсном методе определяется точное время прохождения импульса до цели и обратно (TOF).

Импульсный лазер генерирует множество коротких импульсов в инфракрасной области спектра, которые направляются через зрительную трубу к цели. Эти импульсы отражаются от цели и возвращаются к инструменту, где при помощи электроники определяется точное время прохождения каждого импульса. Скорость прохождения света сквозь среду может быть точно определена. Поэтому, зная время прохождения, можно вычислить расстояние между целью и инструментом.

Измерения с помощью определения времени прохождения сигнала (TOF) обычно имеют не только самую большую дальность, они также соответствуют самым высоким стандартам безопасности, поскольку интервалы между импульсами препятствуют накоплению вредной для глаз энергии.

Каждый импульс – это однократное измерение расстояния, но поскольку каждую секунду могут быть посланы тысячи таких импульсов, то с помощью усреднения результатов достаточно быстро достигается высокая точность измерений. На Рисунке 2 показано распределение измерений с помощью импульсного дальномера Trimble DR300+.



**Рисунок 2: Осреднение импульсов**

В ходе измерения делается около 20000 лазерных импульсов в секунду. Затем они усредняются для получения более точного значения расстояния.

Обычные импульсные дальномеры имеют несколько худшую точность, чем фазовые дальномеры (до 10 мм). Однако в дальномере Trimble DR300+ используется патентованная методика обработки сигнала, позволяющая достичь высокую точность при измерении больших расстояний как с использованием, так и без использования призм. Некоторые тахеометры с импульсным дальномером перед каждым измерением должны быть сфокусированы на цель – Trimble DR300+ этого не требует.

### **ФАЗОВЫЙ ДАЛЬНОМЕР**

DR Standard – это лазерный дальномер, основанный на методе сравнения фаз сигнала. Дальномер передает коаксиальный оптический пучок с модулированной интенсивностью, который отражается от призмы или другой отражающей поверхности. После этого определяется разность фаз между переданным и отраженным принятым сигналом, по которой вычисляется расстояние.

В режиме измерений по призмам дальномер DR Standard работает как быстрый и точный дальномер с большим радиусом действия (до 3500 м по одной призме). В безотражательном режиме DR дальномер DR Standard передает красный коллимированный лазерный пучок до цели и вычисляет сдвиг фазы между переданным и принятым сигналами.

Метод измерения разности фаз работает по принципу наложения на несущую частоту модулированного сигнала. Прибор измеряет постоянное смещение фазы, несмотря на неизбежные изменения в излучаемом и принимаемом сигнале. В результате сравнения фаз опорного и получаемого сигнала определяется только величина сдвига фазы, а целое число циклов остается неизвестным и не позволяет сразу получить расстояние. Эта неоднозначность разрешается путем многократных измерений модуляции волны, в результате чего определяется уникальное целое число циклов. Как только целое число циклов определено, то расстояние до цели может быть вычислено очень точно.

### **СРАВНЕНИЕ ДВУХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В основном, в методе TOF световой импульс используется для непосредственного измерения расстояний, в то время как в методе измерения разности фаз используется модулированный световой сигнал.

Мощность импульсов в дальномерах TOF обычно в несколько раз выше, чем мощность излучения фазовых дальномеров. Следовательно, при импульсном методе возможно измерять большие расстояния (с призмами или без), чем при фазовом методе.

Импульсный метод традиционно несколько менее точен, чем фазовый метод. Однако, используя описанные выше современные методики обработки сигналов Trimble, это отличие становится не таким значительным. (См. Таблицу 1).

	DR300+	DR Standard
По призме	3 мм + 3 ppm	1 мм + 1 ppm
В режиме DR	3 мм + 3 ppm	3 мм + 2 ppm

**Таблица 1: Сравнение точности двух методов.**

Для многих практических задач это отличие несущественно, зато возможность измерений больших расстояний с помощью импульсного дальномера очень востребована многими пользователями.

Чем больше расстояние от излучателя, тем больше расхождение лазерного пучка. Этот принцип действует и для импульсного, и для фазового методов, хотя размер и форма пучка на цели (отклонение пучка от точки визирования) отличаются. Этот эффект различного расхождения имеет как свои преимущества, так и недостатки, и будет более подробно обсужден в следующих разделах этого документа.

Также импульсный и фазовый методы отличаются своей чувствительностью к прерыванию сигнала во время измерений, например, при пересечении луча транспортным потоком при работе рядом с дорогой. Так как импульсный метод объединяет непосредственное измерение времени прохождения импульса с технологией обработки сигналов Trimble, то он оказывается менее чувствительным к прерыванию сигнала, чем фазовый метод. При измерении фазовым методом прерывание сигнала приводит к необходимости

повторного определения неоднозначности, но в конечном счете также выявляется и исключается из измерений.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Сравнить характеристики дальности различных дальномерных технологий можно непосредственными измерениями до одной и той же цели, например до стандартного призмного отражателя. При измерениях в режиме Long Range по одной призме дальность измерений импульсного DR300+ и фазового DR Standard дальномеров практически одинакова – 5500 и 5000 метров соответственно. Однако не все фазовые дальномеры могут измерять так далеко на одну призму как DR Standard. Поэтому при сравнении с другими дальномерами проверьте все их технические характеристики.

## СТАНДАРТЫ KODAK GREY И KODAK WHITE

Прямое сравнение характеристик безотражательных дальномеров требует соблюдения некоторых условий. Поскольку на практике безотражательные измерения выполняются до поверхностей различных типов, в целях честного сравнения дальности нужно выполнить измерения на какую-либо стандартную поверхность, например, на тестовую нейтральную карту Kodak, обычно называемую Серой картой Kodak Gray. См. Рис. 4.



**Рисунок 4: Тестовая нейтральная карта Kodak (Номер по каталогу Kodak E1527795)**

Карта Kodak Gray давно является признанным стандартом в профессиональной фотографии. Обычно это марка размером 4"x5" или 8"x10", толщиной 1/8", серая с одной стороны и белая с другой. Серая сторона называется Kodak Gray и отражает *ровно 18%* попадающего на нее белого света. Белая сторона называется Kodak White и отражает *ровно 90%* белого света. Так как стороны имеют различную отражающую способность, то сравнения дальности лучше проводить по обеим сторонам карты.

В геодезической отрасли имеется некоторая несогласованность в использовании стандартов поверхностей, поэтому очень важно убедиться, что любое сравнение дальности выполняется по одинаковым поверхностям. Например, в некоторых спецификациях указывается просто "Kodak Card" без

уточнения, сторона с какой отражающей способностью – 18% или 90% - была использована для тестирования.

Точные названия двух сторон серой карты Kodak Gray Card - "Kodak Gray Card 18% Reflective" и "Kodak Gray Card 90% Reflective". Первоначальный выбор фотографов на отражении 18% для стандарта Kodak базировался на том факте, что большинство реальных сцен и объектов фотографируются примерно при 18% отражении попадающего на них света. Это также послужило причиной того, что фотографические экспонометры калибруются для определения точной выдержки при 18% отражательной способности. Это же значение 18% подходит и для типовых объектов съемки, обеспечивая в среднем правдоподобные результаты.

В полевых условиях безотражательные DR измерения выполняются до множества различных объектов, отражающих значительно менее 90% попадающего на них света. По этой причине дальность, определенная по стандарту Kodak Gray с 18% отражающей способностью является более надежным показателем дальности, достижимой в реальных условиях съемки. Дальность по стандарту Kodak White с отражающей способностью 90% показывает только максимальное значение по очень хорошо отражающим целям. Условия освещенности цели также оказывают влияние на дальность. Обычно дальность снижается при измерениях до объектов, находящихся под прямым солнечным светом.

#### **СРАВНЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

В Таблице 2 приведено сравнение максимальных расстояний у Trimble DR300+ и DR Standard при измерениях на различные поверхности.

Таблица демонстрирует, что используемый в DR300+ импульсный метод измерений превосходит фазовый метод в 4 – 8 раз. При 90% отражающей поверхности дальномер DR300+ измеряет расстояния в десять раз большие, чем фазовый дальномер.

Surface	DR300+	DR Standard
Kodak 90%	>800 м	>70 м
Kodak 18%	>300 м	>50 м
Бетон	>400 м	>50 м
Дерево	>400 м	>60 м
Светлый камень	>300 м	>50 м
Темный камень	>200 м	>40 м

**Таблица 2: Дальность измерений до различных отражающих поверхностей**

#### **ИЗМЕРЕНИЯ ДО ВЛАЖНЫХ, НЕОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, И ПОД УГЛОМ**

Более высокий уровень энергии импульсного метода позволяет также выполнять измерения до влажных поверхностей на больших расстояниях. Полевые испытания показали, что импульсный дальномер позволяет измерять расстояния до мокрых поверхностей в два или более раз дальше, чем фазовый дальномер, особенно при измерениях под углом. Это еще более заметно при использовании опции DR300+.

Импульсный метод также увеличивает вероятность удачных измерений до неотражающих и наклонных поверхностей, например, до мокрого асфальта. В таких ситуациях возможность измерений может послужить критерием выбора дальномера. Кроме того, скорость измерений импульсным методом позволяет работать в густом транспортном потоке.

Импульсный метод также лучше измеряет до узких объектов, таких как кабели и воздушные провода. Просто возможность таких измерений также может послужить критерием для использования.

#### **СТАНДАРТЫ ЛАЗЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Несмотря на высокий уровень энергии в импульсном методе, дальномеры, использующие этот метод, такие как DR300+, удовлетворяют самым высоким стандартам лазерной безопасности и имеют соответствующую классификацию. Излучаемые лазерные импульсы, хотя и имеют достаточную мощность для измерения на сотни метров, имеют короткую продолжительность и поэтому не накапливают энергию. Непрерывное лазерное излучение, которое иногда используется для расширения дальности фазовых дальномеров, может привести к накоплению опасной для глаз энергии.

В большинстве геодезических инструментов используются лазеры Класса 1, Класса 2 и Класса 3R.

#### **ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 1**

Лазеры Класса 1, подобные Trimble DR300+ - невидимые лазеры, удовлетворяющие высочайшим стандартам безопасности: прямое попадание пучка на кожу или в открытый глаз безвредно. Лазеры Класса 1 также не вызывают опасности, если другой геодезический инструмент попадет в пучок его излучения. Стандарт IEC 60825-1 гласит "Лазеры, которые безопасны в достаточно предсказуемых условиях работ, включая использование оптических инструментов для совместных наблюдений". Дальномер DR Standard в режиме измерений по призмам также использует лазер Класса 1.

## ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 2

Лазеры Класса 2 излучают видимый лазерный пучок, который может представлять опасность для глаз при прямом попадании. Пользователи должны специально позаботиться о том, как избежать прямое попадание луча в оптические приборы, такие как бинокли или другие геодезические инструменты.

Лазеры Класса 2 как правило безопасны для использования в публичных местах (где и ведутся съемочные работы) без всяких специальных мер предосторожности, кроме мер по избеганию прямого попадания луча в глаз. Инструкции не требуют использования предупреждающих знаков, звуковых сигналов или специального обучения персонала для работы с лазерами этого класса.

Дальномер Trimble DR Standard в режиме DR попадает в Класс 2. Много повседневных ручных лазерных устройств, таких как лазерные указки, также относятся к Классу 2.

## ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КЛАССА 3R

Можно повысить дальность измерений фазовых дальномеров, увеличив мощность источника лазерного излучения — обычно от менее 1 мВт до 5 мВт. Однако мощное непрерывное лазерное излучение уменьшает безопасность, получая по лазерной классификации Класс 3R.

Международный стандарт IEC 60825-1 предоставляет дополнительные предостережения, необходимые при использовании оборудования Класса 3R. Ниже приведем цитату из него:

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ КЛАССА

*3R— Лазерная продукция Класса 3R, используемая в геодезии, выравнивании и нивелировании. Только квалифицированный и обученный персонал должен быть допущен к установке, настройке и работе с лазерным оборудованием. Области, в которых это лазерное оборудование применяется, должны быть размечены соответствующими знаками с предупреждениями. Должно быть уделено внимание предотвращению непреднамеренного отражения излучения. Для демонстраций, показов и выставок должна использоваться лазерная продукция только Класса 1 или Класса 2. Обучение: Только лица, получившие специальное обучение допускаются к управлению такими системами. В обучение должны быть включены: знакомство с работой системы с применением предупреждений об опасности, предупреждающих знаков и др., необходимость личной защиты, процедуры сообщений о происшествии, и биологического влияния лазерного излучения на глаза и кожу. Должны быть сделаны предостережения о том, что лица не должны смотреть прямо на луч. Должны быть сделаны предостережения о том, что лазерное излучение не должно быть неумышленно направлено на зеркальные поверхности. При включении лазера должны подаваться звуковые и визуальные предупреждения.*

Приведенные здесь предостережения по использованию оборудования Класса 3R позволяют использовать его на практике только в таких областях, как открытые горные

разработки и некоторые строительные площадки, но не в открытых общественных местах.

При сравнении характеристик инструментов важно убедиться в том, что они имеют сравнимые лазерные классы (Класс 1 или 2) и полностью уяснить положение и обязанности пользователя при работе с другими классами излучения, такими как 3R.

Компания Trimble не выпускает геодезических инструментов Класса 3R.

### ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕЖИМЕ DR

При сравнении дальности DR измерений важно также учитывать и время измерений, поскольку оно существенно влияет на производительность работ. На больших расстояниях импульсный дальномер, как правило, позволяет выполнять измерения намного быстрее, чем фазовый, так как у последнего время измерения увеличивается при увеличении расстояния. Время измерений фазового дальномера часто приводится как постоянная величина для короткого отрезка плюс пропорциональная расстоянию переменная величина.

Возьмем в качестве примера фазовый дальномер DR Standard, имеющий время измерений в режиме слежения 0.8 секунды на первые 30 м, плюс 1 секунду на каждые дополнительные 10 м. На расстоянии 100 м время измерений составляет 7.8 секунды. Типичное время измерений для импульсного дальномера DR300+ равно 3 секундам. Оно зависит от структуры поверхности, до которой ведутся измерения. После первоначального измерения в режиме слежения расстояния обновляются

каждые 0.4 секунды. Для получения более высокой точности оба метода требуют увеличения времени измерений. Однако время измерений импульсным методом не зависит от расстояния. Этот факт очень важен, поскольку малое время измерений любого расстояния сильно сказывается на производительности полевых работ.

На Рисунке 5 показана зависимость времени измерения от расстояния для дальномеров Trimble DR300+ и DR Standard. Рисунок показывает, что время измерения максимально возможного расстояния фазовым дальномером обычно в 4 раза больше, чем импульсным. На больших расстояниях сравнение не производилось, поскольку они находятся за пределами дальности измерений фазовых дальномеров.

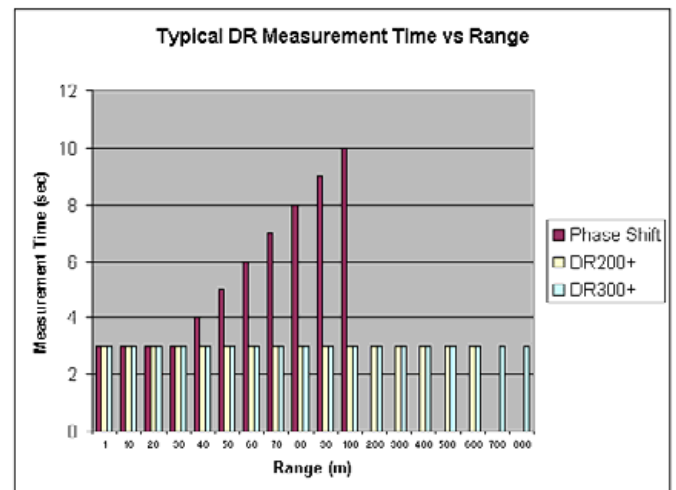


Рисунок 5: Время измерений в зависимости от расстояния



## РАСХОДИМОСТЬ ПУЧКА И ТОЧНОСТЬ

Как было показано на Рисунке 3, используемый для измерений лазерный луч расходится по мере распространения от источника.

Природа расходимости луча для импульсного и фазового дальнометров различна: при выходе из инструмента диаметр луча импульсного дальнометра несколько больше, чем у фазового дальнометра. Поскольку луч импульсного дальнометра обычно проходит расстояние в два-три раза большее, чем луч фазового дальнометра, то на больших расстояниях размер его пятна может составить до 4 см в диаметре. Однако это не значит, что точность измерений снижается до 4 см; она остается той же самой, как указано в спецификации. Это просто означает, что сама область измерений имеет такой размер.

Широкое или узкое лазерное пятно может иметь как свои преимущества, так и недостатки. Широкое пятно может быть полезным в случае измерений до мелких объектов, таких как провода линий электропередачи, антенн и т.д. С узким пятном такие объекты могут быть пропущены. (Более мощный импульс распространяется в более широкой области, с большей вероятностью попадания в небольшую цель при сохранении высокой точности измерения).

Узкое пятно фазового дальнометра имеет свои преимущества при необходимости измерений на небольших расстояниях до внутренних или внешних углов, например, внутри помещений или сквозь отверстия. Хотя благодаря узкому пучку ошибки

измерений уменьшаются, нужно отметить, что они не исключаются полностью. Более точным решением при измерениях до углов, полностью исключаящим проблему размеров пучка, будет использование простых встроенных программ. Например, сначала пользователь производит измерение углов и расстояний до двух точек на смежной с углом стене, а затем берёт угловой отсчет на вершину угла. См. на Рисунок 6. Этот метод одинаково хорошо работает и для импульсных, и для фазовых дальнометров, позволяя получить координаты угла с более высокой точностью, чем при непосредственном измерении с использованием DR технологии любого типа. (Поскольку расходимость лазерного пучка существует как для импульсных, так и для фазовых дальнометров, ошибка будет присутствовать в обоих случаях непосредственного измерения до внутреннего или внешнего угла).

Расходимость луча также сказывается при безотражательных измерениях до поверхности, имеющей заметный наклон к линии визирования. Это касается всех типов дальнометров. И здесь ошибка измерений может быть существенно уменьшена благодаря другой встроенной программе, которая позволяет выполнять измерения при двух кругах. В этом случае ошибки, вызванные измерениями плоскости под углом, взаимноисключаются.

## ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

При оценке того или иного типа безотражательного дальномера пользователь легко может выполнить несколько тестов для подтверждения заявленных производителем характеристик.

Для тестирования дальности измерений просто выбирается группа объектов на расстоянии до 600 метров и определяется, до каких из них могут быть выполнены измерения различными типами безотражательных дальномеров.

Для тестирования эффекта расходимости луча и точности выбирается предмет небольшого размера, например, карандаш. Карандаш закрепляется на некотором расстоянии перед стеной и до него выполняется измерение. Затем карандаш убирают и измеряют расстояние до стены. После этого разность двух измерений сравнивается с известным расстоянием между стеной и карандашом. Полученное по DR технологии любого типа расхождение не будет зависеть от размера пятна. Другой тест для проверки дальномера – это измерения до линий электропередач и телефонных проводов на различных расстояниях.

Тестирование дальномеров на чувствительность к прерыванию сигнала можно провести, выполняя измерения расстояний через загруженную транспортом дорогу.

Проверяйте точность измерений на известных базисах и сравнивайте типичное время измерений на различных расстояниях: при съемке тысячи точек в день этот

параметр существенно влияет на производительность работ.

Также проверьте возможности встроенного программного обеспечения инструмента, о чем будет сказано ниже.

## ПРИЛОЖЕНИЯ DR

Не менее самих безотражательных измерений важны возможности полевого программного обеспечения.

Удобные полевые программы позволяют геодезисту использовать DR технологию наиболее эффективным образом.

В электронных тахеометрах Trimble S6 применяется множество полезных программ. Некоторые из них будут описаны ниже.

## ЗАДАНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЙ

Иногда пользователю необходимо произвести измерение до удаленного объекта, за которым вдоль линии визирования находится другой отражающий объект. В этом случае можно выполнить ошибочное измерение до другого объекта. Проблему можно решить следующим образом: определить расстояние до объекта, находящегося приблизительно на таком же удалении, что и требуемый, или определить расстояние до дальнего объекта. Используйте одно из этих значений для установки диапазона измерений, например, чтобы измерять расстояния до объектов только свыше 100 метров, или находящихся на расстоянии от 120 до 130 метров.

Например, если линия визирования на верх водонапорной башни пересекается проводами ЛЭП, то сначала определите расстояние до них. Если до

проводов 45 метров, то измените в программе диапазон для измерения расстояний свыше 50 м – и инструмент будет измерять расстояния до водонапорной башни.

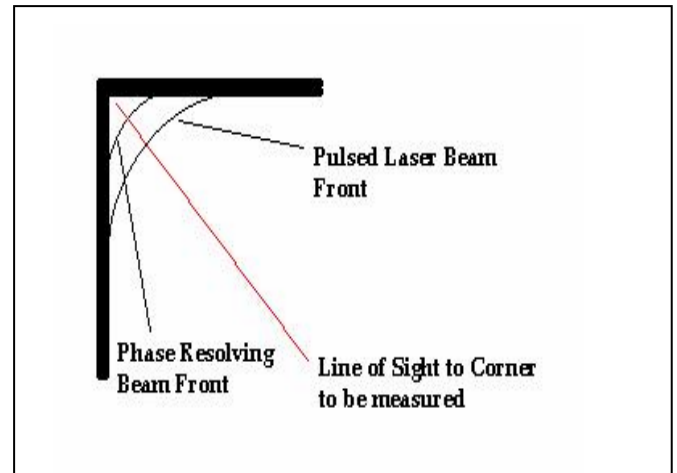
### ЗАДАНИЕ ДОПУСКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Также в программном обеспечении инструмента может быть задана требуемая среднеквадратическая ошибка измерения расстояний, например, 0.010 м или 0.001 м. Тахеометр будет проводить измерения до тех пор, пока заданная точность не будет достигнута. Если требуемая точность не будет достигнута за установленное максимальное число измерений, то программа укажет полученную ошибку и предложит оператору принять или отклонить данное измерение.

### ТОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДО УГЛА

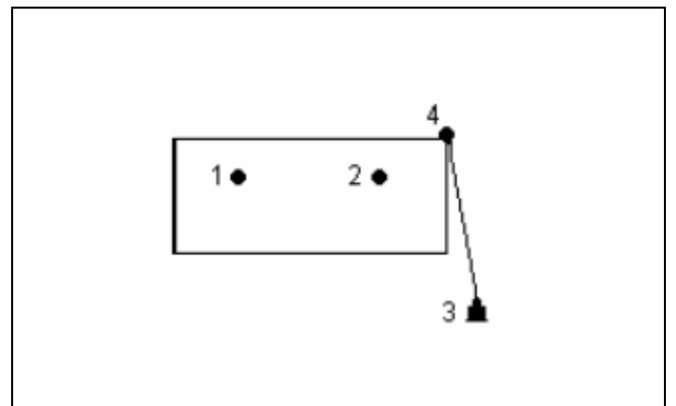
Все безотражательные дальномеры, импульсного или фазового типа, неизбежно будут иметь ошибки при измерениях до внутренних или внешних углов в результате расходимости пучка при его распространении от источника. Когда лазерный луч направлен точно на угол, часть его излучения переотражается от стен прежде, чем от центральной точки угла.

Этот эффект при измерении до угла показан на Рисунке 6, на котором можно увидеть, что фронт излучения фазового дальномера ближе подходит к углу, чем фронт импульсного дальномера (инструменты расположены на одинаковом расстоянии). Тем не менее, оба метода будут иметь ошибки измерений.



**Рисунок 6: Безотражательные измерения до угла**

В результате этого эффекта наиболее точным способом будет косвенное измерение, объединяющее измерение углов и расстояний. В специальной программе последовательно производятся два измерения на одну из стен (1 и 2), которые задают вертикальную плоскость. Затем оператору потребуется только навести зрительную трубу точно на угол (4) и прибор автоматически вычислит его точные координаты, без влияния ошибок переотражения. См. Рисунок 7.



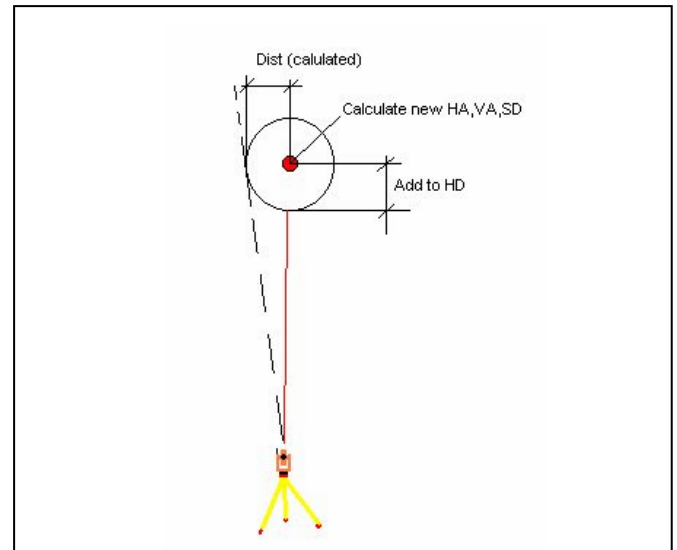
**Рисунок 7: Задание вертикальной плоскости и измерение до угла**

Кроме этого способа, в тахеометре Trimble S6 имеется другая дополнительная программа определения координат пересечения между 4 точками (двумя пересекающимися прямыми).

### ИЗМЕРЕНИЯ ДО ЦЕНТРА КРУГЛЫХ ОБЪЕКТОВ

Принцип работы этой программы показан на Рисунке 8. В этом примере рассматривается задача определения координат центра круглого фонарного столба. Ясно, что выполнить такое измерение напрямую невозможно, однако его можно сделать, используя безотражательный дальномер и вспомогательное программное обеспечение - без необходимости устанавливать отражатель на верх столба.

Сначала в безотражательном режиме производится измерение до центра столба со стороны инструмента, которое может быть выполнено на расстояниях до 800 м для дальномера DR300+ и до 70 м для DR Standard, в зависимости от типа поверхности. Затем зрительная труба наводится на край столба со стороны инструмента. В результате этого автоматически вычисляется радиус столба, по которому определяются координаты его центра.

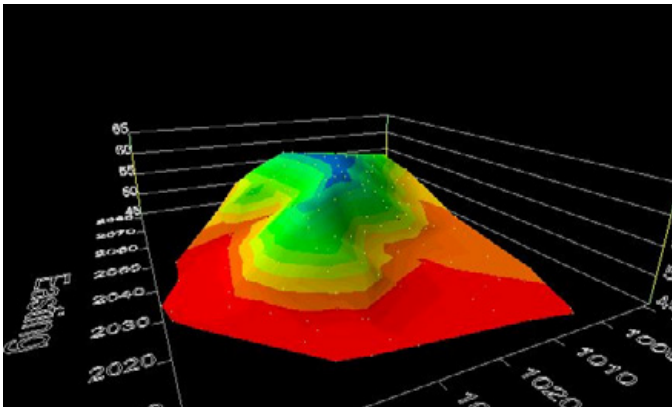


**Рисунок 8: Внецентренное определение точки**

### СКАНИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Такие поверхности, как горные забои, крутые откосы или отвалы породы, могут быть автоматически измерены, используя режим сканирования поверхности.

Пользователь задает окно и шаг сканирования, после чего прибор сам автоматически производит съёмку заданного участка. Для создания цифровой модели поверхности и ее визуализации может быть использовано офисное программное обеспечение Trimble, например Terramodel®. См. Рисунок 9.



**Рисунок 9: Визуализация отсканированной поверхности**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология измерений без отражателей гарантирует пользователям значительное повышение производительности и безопасности работ. Теперь с лёгкостью могут измеряться объекты, которые ранее были недоступны или опасны, такие как обрывы, дамбы, горные выработки и забои, загруженные магистрали и др. С новой технологией стала возможной фасадная съёмка зданий, а возможность работы с одним исполнителем значительно снижает стоимость работ. Возможность бесконтактных измерений при работе на автомобильных и железных дорогах понижает травматизм и повышает безопасность.

В данной статье мы рассказали о двух методах безотражательных измерений – фазовом и импульсном – каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Также мы пояснили некоторые типовые программы, предназначенные для их поддержки.

Используемый в дальномере DR300+ импульсный метод обеспечивает высокую точность  $\pm(3 \text{ мм} + 3 \text{ ppm})$  и позволяет измерять расстояния в 6 раз большие, чем

фазовый дальномер, не сильно уступая ему по точности. Поэтому дальномер DR300+ рекомендуется для тех приложений, где требуется большая дальность измерений без отражателя 150м – 800 м для уменьшения числа установок инструмента и повышения производительности съёмки.

Фазовая технология, используемая в дальномере DR Standard, обеспечивает наивысшую точность в режиме измерений по призмам  $\pm(1 \text{ мм} + 1 \text{ ppm})$ , а в режиме DR  $\pm(3 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$ . Дальномер DR Standard особенно полезен в задачах подземной съёмки, туннелестроении или при высокоточном мониторинге. Он также отлично подходит для работ внутри помещений и там, где не требуется возможностей измерений больших расстояний дальномера DR300+.

Используя в тахеометрах Trimble S6 возможности как импульсных DR300+, так и фазовых дальномеров DR Standard, Trimble предлагает геодезистам самый полный выбор безотражательных решений на сегодняшний день. Хорошо понимая разницу между импульсной DR300+ и фазовой DR Standard технологиями, геодезист сможет подобрать себе самый подходящий инструмент для решения необходимых задач.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Для получения более подробной информации обращайтесь к следующим материалам:

- Технические характеристики тахеометров Trimble S6
- Технические характеристики тахеометров Trimble 5600
- Технические характеристики тахеометров Trimble 3600
- Технические характеристики тахеометров Trimble 3300
- Положение: IEC60825-1 / 2 Лазерная безопасность глаз