

## TRIMBLE S6 MAGDRIVE SERVO

T. LEMMON, R. JUNG

TRIMBLE SURVEY, WESTMINSTER, COLORADO, USA

### АННОТАЦИЯ

В тахеометрах Trimble® S6 впервые применена революционная технология серво/угловой системы, получившая название MagDrive™ Servo. Технология MagDrive™ Servo основана на использовании прямого электромагнитного привода без трения. Система с прямым приводом позволяет установить серводвигатели непосредственно на горизонтальной и вертикальной осях, исключив необходимость в дополнительных механических передачах. Совмещение с датчиками углов увеличивает скорость работы серводвигателей за счет быстрой обработки сервопроцессором угловых значений. Технология MagDrive Servo обеспечивает высокую точность и скорость вращения в сочетании с малым потреблением энергии. Вращение без трения также снижает шум сервомотора и износ инструмента.

### ВВЕДЕНИЕ

В основе технологии MagDrive Servo лежит принцип использования электромагнитов для транспортных двигателей, впервые предложенный Hermann Kemper в 1934 году. Эта концепция заложила основу для создания поездов на магнитной подвеске во всем мире. В конце 1960-ых и начале 1970-ых начались первые разработки высокоскоростных поездов.

В 1979 на Международной выставке транспорта в Гамбурге был продемонстрирован первый в мире поезд на магнитной подвеске. Длительная процедура тестирования в течение 1980-ых и 1990-ых завершилась созданием первого коммерческого поезда на магнитной подвеске, начавшего перевозки в 2002 из Шанхая в международный аэропорт Pudong в Китае. В декабре 2003 шанхайский поезд установил новый мировой рекорд скорости среди коммерческих ж/д систем, равный 501 км/час. Скорость и эффективность

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

© 2005, Trimble Navigation Limited. Все права защищены. Trimble, логотип Globe & Triangle и Autolock – товарные знаки Trimble Navigation Limited, зарегистрированные в Бюро Патентов и Товарных знаков США и других стран. MagDrive и SurePoint – товарные знаки Trimble Navigation Limited. Все другие торговые марки являются собственностью соответствующих владельцев. RPN 022543-100-RU (01/05)

поездов на магнитной подвеске произвели революцию в транспорте. Многие страны, такие как США, Германия, Япония и Китай инвестируют большие средства в эту технологию, как в транспортную систему будущего. Для получения более подробной информации обратитесь к <http://www.transrapid.de/en/index.html>

### ТЕХНОЛОГИЯ TRIMBLE MAGDRIVE SERVO

MagDrive Servo – это совмещенный сервопривод с датчиками угла, в котором используется система с прямым электромагнитным приводом без трения, аналогичная используемой в поездах на магнитной подвеске. Система с прямым приводом позволяет установить серводвигатели прямо на горизонтальную и вертикальную оси, исключив необходимость в дополнительных механических передачах.

Возможность быстрой передачи точных значений углов процессору сервомотора без использования дополнительного декодера или тахеометра обеспечивает MagDrive высокую скорость.

### СЕРВОПРИВОД

Серводвигатель состоит из держателя, содержащего области магнитов и мягкого металла, размещенных в двух концентрических цилиндрах, разделенных воздушным зазором. Воздушный зазор обеспечивает достаточное пространство для цилиндрической обмотки мотора, разделенной на

три фазы для обеспечения тонкого контроля над скоростью и направлением вращения. (Рисунок 1).

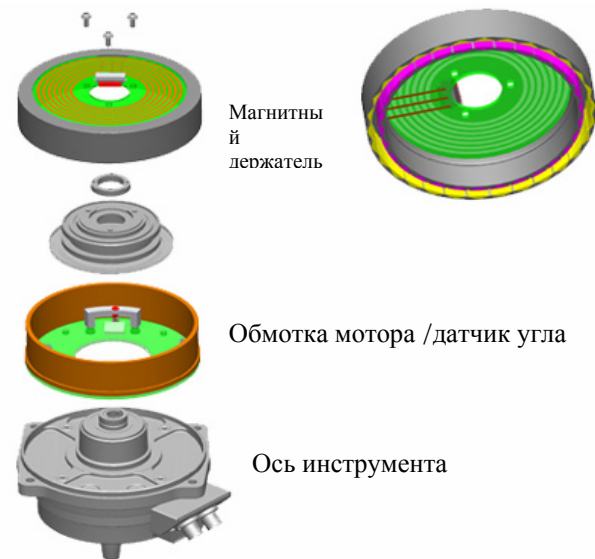


Рисунок 1: Совмещенная угловая и серво системы

Прибор приводится в движение током, проходящим через обмотку мотора. Движущая сила мотора обеспечивает бесконтактное вращение инструмента в соответствии с общеизвестной теорией электромагнитного поля.

Электромагнитная сила заставляет вращаться магнитный держатель.

Величина создаваемой силы соответствует известному физическому соотношению:

$$F = B \times I \times L \times \sin(A), \text{ где}$$

$F$  - вектор силы (Ньютон)

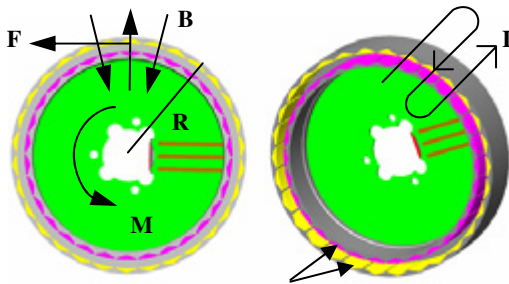
$B$  - напряжённость магнитного поля (Тесла)

$I$  - ток обмотки (Ампер)

$L$  - длина провода в магнитном поле

$A$  – угол между направлением тока и магнитным полем.

Рабочий крутящий момент  $M$  равен силе  $F$ , умноженной на радиус цилиндра  $R$  (Рисунок 2).



**Рисунок 2: Серводвигатель в работе**

Такая конструкция позволяет передать прибору силу привода практически без трения. Система обеспечивает бесконечное вращение в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также бесконечную тонкую наводку без дополнительных механических крепежных винтов.

В сервотехнологии используются три следующих рабочих режима:

- Режим движения. Вращение управляется сервовинтами или самой системой
- Режим торможения. Привод позволяет вращать прибор вручную

- Режим удержания. Привод работает как крепежный винт для удержания инструмента в неподвижном положении, препятствуя смещениям, например при нажатии кнопки

Режим движения управляется с помощью вращения сервовинтов. Сервовинты устроены так, что при их непрерывном вращении происходит увеличение скорости вращения прибора. Имеется 5 уровней скорости вращения, которые переключаются при непрерывном вращении винта со скоростью свыше 1 оборота в секунду. Уровень скорости определяется величиной поворота винта, а переключение скоростей от самой медленной до самой быстрой производится в следующем порядке:

- менее  $\frac{3}{4}$  оборота (самая медленная)
- более  $\frac{3}{4}$  оборота
- более  $1\frac{1}{2}$  оборота
- более  $2\frac{1}{4}$  оборотов
- более  $2\frac{3}{4}$  оборотов (самая быстрая)

После прекращения вращения сервовинта прибор продолжает вращаться с текущей скоростью в течение еще полсекунды, позволяя пользователю продолжить при необходимости вращение инструмента. Через полсекунды прибор переключается на самую медленную скорость. Снизить скорость вращения также можно с помощью обратного вращения сервовинтов.

Рабочие режимы и конструкция системы прямого привода обеспечивают исключительные преимущества перед традиционными технологиями. Преимущество может быть легко продемонстрировано сравнением времени, необходимого для смены круга. Сравнение этих характеристик приведено в Таблице 1.

Для каждого прибора показано среднее время, вычисленное из 30 оборотов.

	Скорость вращения	Среднее время смены круга
Trimble S6	115°/сек	3.2 сек
Trimble 5600	60°/сек	9.9 сек
Другие ведущие производители	50°/сек	8.4 сек

**Таблица 1: Смена круга Trimble S6**

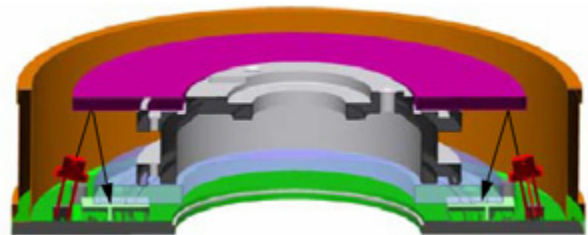
Время было измерено от момента команды на смену круга до момента обновления значения углов и готовности инструмента к работе. Точность поворота была в пределах, указанных в спецификации протестированных инструментов.

Технология MagDrive Servo тахеометра Trimble S6 уверенно продемонстрировала высокую точность и исключительную скорость.

## ДАТЧИК УГЛА

В тахеометре Trimble S6 используется усовершенствованный оптический датчик угла, совмещенный с сервоприводом (Рисунок 3). Узел углового датчика состоит из стеклянных кругов, на

которых нанесены грубый и точный кодовые растры. Кодовый растр нанесен на стеклянном диске в виде двух дорожек: одна дорожка с абсолютным кодом, а другая – с инкрементальным. Использование двух отдельных дорожек обеспечивает единую точность и разрешение по всему кругу. Обе дорожки подсвечиваются одним лазерным излучателем и проецируются на два матричных полупроводниковых (CMOS) приемника.



**Рисунок 3: Разрез датчика угла**

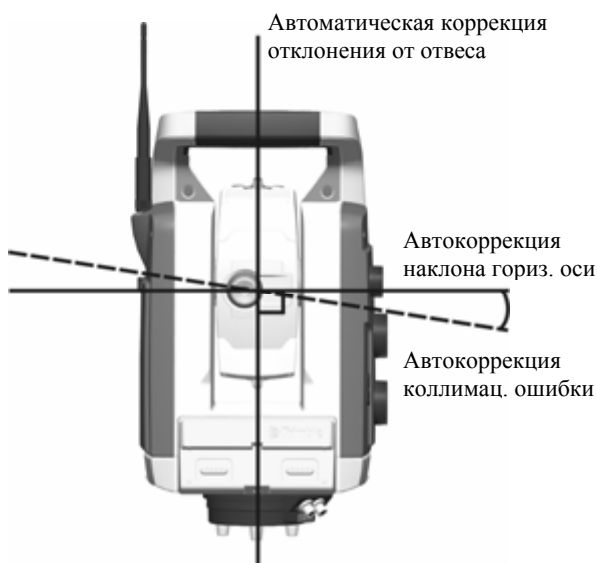
Для обеспечения надежности данных абсолютного декодера и уменьшения влияния эксцентриситета датчики расположены на противоположных сторонах диска. Изображение, считанное с дорожки с инкрементальным кодом, анализируется численным методом Фурье с целью определения фазы и получения высокоточных значений углов по точному коду. Окончательное значение угла вычисляется как среднее из отсчетов двух CMOS приемников.

Механически датчик угловой системы встроен в корпус сервомотора. Центральный блок состоит из оптического диска, лазерного излучателя, приемников изображения и обмотки сервомотора.

Угловой датчик предназначен не только для вывода и сохранения угловых данных, но также и для снабжения сервосистемы данными для угловых вычислений.

Помимо быстрого получения точных углов, система угловых измерений компенсирует следующие ошибки:

- Автоматическая коррекция наклона вертикальной оси.
- Автоматическая коррекция коллимационных ошибок.
- Автоматическая коррекция наклона горизонтальной оси вращения.
- Арифметическое усреднение результатов с целью уменьшения ошибок наведения



**Рисунок 5: Автоматическая коррекция отклонения от отвесной линии**

Отклонение от отвесной линии может произойти в том случае, когда одна (или более) ножка штатива

сдвинулась в результате пр седания почвы или изменения вязкости, например при нагреве гудронированного покрытия шоссе. Коррекция таких подвижек очень важна для обеспечения точности полученных результатов.

Большинство современных тахеометров оснащаются двухосевым компенсатором, который автоматически исправляет горизонтальные и вертикальные углы в результате любых отклонений от отвесной линии, вызванных нарушением горизонтирования. Принцип двухосевого компенсатора Trimble S6 состоит в использовании светового пучка, который отражается от свободной поверхности жидкости сквозь оптические линзы. Для определения отклонений светового пучка в направлении линии измерения и взаимно перпендикулярному к этому направлению линии используется CMOS приемник.

Сенсор компенсатора установлен в центре прибора с целью уменьшения чувствительности к вибрациям и вращению инструмента. Конструкция крепежных узлов обеспечивает наивысшую стабильность, которую может обеспечить компенсатор с абсолютным значением наклона. Это означает, что компенсатор активируется и работает, сохраняя точность сразу после включения прибора. Кроме этого, оператор может запустить автоматическую процедуру калибровки компенсатора. Процесс калибровки заключается в установке горизонтальной опорной плоскости относительно

оси вращения вертикальной оси прибора при его повороте на 360°. Ориентировка опорной плоскости может незначительно изменяться при существенных изменениях температуры или при других источниках изменения механической напряженности внутри прибора.

В отличие от большинства тахеометров, MagDrive позволяет Trimble S6 исправлять не только горизонтальные и вертикальные углы при наклоне прибора, но также и вызванные этим ошибки наведения. Поправка за наклон передается сервомоторам для корректировки наведения инструмента. Например, коррекция наведения при проведении вертикали гарантирует получение действительно вертикальной линии. В результате горизонтальные и вертикальные углы исправлены с учетом ошибки наклона, в то время как прибор точно наведен на нужное положение. Эта технология исключает ошибки наклона и гарантирует точные угловые измерения.

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ КОЛЛИМАЦИОННЫХ ОШИБОК**

На точность измерений горизонтальных и вертикальных углов влияют коллимационные ошибки. Коллимационная ошибка в горизонтальной плоскости – это плоский угол между визирной осью и перпендикуляром к горизонтальной оси вращения трубы; коллимационная ошибка в вертикальной плоскости (место нуля) – угол между нулем

вертикального круга и отвесной линией.

Традиционно коллимационные ошибки исключаются наблюдением углов при двух положениях круга. В Trimble S6 коллимационные ошибки могут быть заранее определены с помощью предварительной поверки. Для вычисления коллимационных ошибок выполняются угловые измерения при двух положениях круга и сохраняются в памяти инструмента в виде соответствующих поправок. Эти значения поправок за коллимацию затем применяются ко всем последующим угловым измерениям. Измеренные при одном круге углы автоматически исправляются поправками за коллимацию, исключая необходимость измерений при двух кругах.

Инструменты Trimble S6 с технологией Autolock® могут автоматически захватывать и отслеживать цель. Поскольку визирование на цель выполняется самим инструментом, влияние коллимации по горизонтальному и вертикальному кругам сходно с влиянием при наведении вручную. Для исправления коллимационных ошибок следящей системы может быть выполнена поверка коллимации Autolock.

Поверка коллимации Autolock автоматически выполняет угловые измерения на цель при двух положениях круга. Затем вычисляются ошибки коллимации Autolock и соответствующие значения поправок сохраняются в памяти инструмента. Значения поправок коллимации Autolock затем

применяются ко всем последующим угловым измерениям в режиме Autolock. Измеренные при одном круге углы автоматически исправляются поправками за коллимацию, исключая необходимость измерений при двух кругах.

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ НАКЛОНА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ТРУБЫ**

Ошибка наклона горизонтальной оси – это плоский угол между осью вращения зрительной трубы и перпендикуляром к отвесной линии. В тахеометре Trimble S6 ошибка наклона горизонтальной оси может быть определена с помощью предварительной поверки. Для вычисления ошибки наклона горизонтальной оси угловые измерения выполняются при двух положениях круга и сохраняются в памяти прибора в виде соответствующих поправок. Затем эти значения поправок за наклон оси вращения трубы применяются ко всем последующим измерениям горизонтальных углов.

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОСРЕДНЕНИЕ УМЕНЬШАЕТ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Trimble S6 автоматически уменьшает ошибки, вызванные неточным наведением на цель или смещениями прибора в ходе измерений. Ошибки измерений могут быть уменьшены с помощью:

- Технологии Autolock. При включенном Autolock прибор захватывает и отслеживает цель автоматически. Ошибки ручного наведения исключаются.
- Технологии SurePoint™. При ручном наведении Trimble S6 на цель сервомоторы тонко настроены на удержание угла. SurePoint гарантирует исключение ошибок визирования, вызванных непреднамеренными малыми смещениями инструмента.
- Автоматического усреднения углов при измерении расстояний. На измерение расстояний в стандартном режиме STD инструмент затрачивает около 1.2 секунды. Полностью синхронизированные измерения углов и расстояний осредняются на всем интервале измерений для получения более надежных значений.
- Использования методов усреднения измерений в полевых программах Trimble. При настройке программ имеются способы, позволяющие задавать число измерений для записи надежных окончательных результатов. Кроме этого, для дальнейшего уменьшения ошибок измерений

могут быть использованы измерения с несколькими приемами.

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ MAGDRIVE SERVO**

Помимо высокоскоростных измерений углов и сервоуправления, Trimble S6 с технологией MagDrive Servo имеет и другие неоспоримые преимущества перед традиционными тахеометрами. В их число входят:

### **ТЕХНОЛОГИЯ НАВЕДЕНИЯ SUREPOINT**

Технология гарантии точности SurePoint позволяет Trimble S6 оставаться всегда наведенным на цель. После того, как пользователь навел прибор на цель вручную, сервомоторы переходят в режим удержания. Если инструмент непреднамеренно сдвинут, например, при нажатии с чрезмерным усилием на клавишу измерений, то прибор выполнит тонкую наводку для возвращения назад в исходное положение. Технология SurePoint гарантирует, что традиционные ошибки наведения, вызванные непреднамеренными небольшими подвижками прибора, будут исключены.

### **КОРРЕКЦИЯ НАВЕДЕНИЯ ПРИ НАКЛОНЕ ИНСТРУМЕНТА**

Традиционные тахеометры используют двухосевые компенсаторы для исправления значений горизонтальных и вертикальных углов при наклоне прибора. Однако поправки в углы не компенсируют ошибку наведения, вызванную

наклоном. SurePoint совместно с технологией MagDrive позволяет Trimble S6 исправлять не только значения горизонтальных и вертикальных углов, но и ошибку наведения, вызванную наклоном инструмента. Сервомотор, используя поправку за наклон, автоматически наводит инструмент на верное положение. В результате и горизонтальные, и вертикальные углы исправлены поправками за наклон, а инструмент остается точно наведенным на цель.

Коррекция наведения при наклоне инструмента предоставляет Trimble S6 передовую технологию исключения ошибок, которая обеспечивает дополнительную возможность получения высокоточных измерений.

### **ПРОДЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛИ**

Ограничение традиционных тахеометров состоит в невозможности продления вертикальной линии вниз или вверх при наклоне трубы наводящим винтом вертикального круга, не изменяя при этом значения горизонтального угла. Такая возможность доступна только инструменту, который идеально отъюстирован и отnivelирован по всем осям. На практике, когда вы поворачиваете инструмент в вертикальной плоскости, вы можете отметить небольшие изменения в значении горизонтального угла. Для получения истинной вертикали горизонтальный угол должен корректироваться. Применяемая в тахеометре Trimble S6 технология SurePoint использует информацию об ошибках для

автоматической корректировки наведения и значения горизонтального угла при вращении наводящего винта вертикального круга. Поэтому при простом вращении наводящего винта вертикального круга создается идеальная вертикаль.

### **ПРОДЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛИ**

Подобно способу, используемому при продлении вертикали, традиционный способ продления створа в противоположном направлении состоит в повороте зрительной трубы на 180° простым вращением наводящего винта вертикального круга. При использовании этого способа для получения точного результата традиционные инструменты должны быть идеально отъюстированы с целью исключения коллимационных ошибок. Trimble S6 устраняет это требование, используя данные компенсатора и информацию о коллимационных ошибках для автоматической корректировки горизонтального угла. Горизонтальный угол корректируется, обеспечивая точное направление визирной линии.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Тахеометр Trimble S6 с сервотехнологией MagDrive предоставляет беспрецедентную скорость и точность измерений для решения любых геодезических задач. MagDrive обеспечивает неоспоримые преимущества перед традиционными

тахеометрами, позволяя пользователям увеличить точность и производительность работы.

Для получения более подробной информации о том, как геодезические решения Trimble смогут помочь вам расширить свой бизнес, или о возможностях тахеометров Trimble S6 с MagDrive свяжитесь с вашим местным представителем Trimble. Для поиска ближайшего авторизованного дистрибьютора Trimble посетите сайт по адресу <http://global.trimble.com/ru/default.asp?id=99>.