

# ТЕХНОЛОГИЯ TRIMBLE xFILL, ДОПОЛНЯЮЩАЯ RTK

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

TRIMBLE SURVEY DIVISION

ВЕСТМИНСТЕР, КОЛОРАДО, США

Сентябрь 2012

## РЕЗЮМЕ

Новая технология Trimble xFill™ позволяет расширить возможности работы в RTK режиме в случае потери потока RTK поправок даже на несколько минут. Поправки Trimble xFill передаются со спутника, поэтому доступны почти везде там, где доступны сигналы спутников GNSS. Геодезисты, вооруженные технологией Trimble xFill, существенно повышают производительность съемки в поле. В этой брошюре описана технология Trimble xFill и ее практическое применение.

Survey Division, 10355 Westmoor Drive, Suite #100, Westminster, CO 80021, USA

© 2012, Trimble Navigation Limited. Все права защищены. Логотип Trimble, Глобус и Треугольник – торговые марки Trimble Navigation Limited, зарегистрированные в США и других странах. Все прочие торговые марки – собственность соответствующих владельцев. PN 022543-551 RUS (10/12)

[www.trimble.com](http://www.trimble.com)



## **ВВЕДЕНИЕ**

В этой брошюре описана новая технология Trimble xFill и раскрыты различные аспекты этого мощного расширения RTK съемки, призванного значительно повысить производительность полевых работ. При обрыве связи с одиночной базовой станцией или с сервером VRS сети базовых станций работа в режиме RTK прерывается из-за отсутствия основного потока поправок. Благодаря же технологии Trimble xFill после потери связи можно непродолжительный период времени продолжать измерение точек с высокой точностью. Это позволяет не только избежать пропусков при выполнении съемки, но и совершать кратковременные вылазки на те территории, где прием RTK поправок затруднен, но прием сигналов GNSS спутников сохраняется.

Для достижения сантиметрового уровня точности с помощью сигналов GNSS в технологии Trimble xFill используется специализированный поток поправок, передаваемый спутниками L-диапазона и формируемый с помощью технологии Trimble Real-time eXtended (RTX). Поэтому, перед подробным описанием технологии Trimble xFill, сначала в этой брошюре будет рассказано о технологии Trimble RTX.

## **ТЕХНОЛОГИЯ TRIMBLE RTX**

Недавно разработанная в Trimble, технология позиционирования RTX объединяет множество инновационных технологий, позволяющих пользователю в реальном времени получать координаты сантиметрового уровня точности в любой точке на или вблизи земной поверхности.

Эта новейшая технология позиционирования основывается на формировании и передаче пользователю точных спутниковых поправок (орбиты, уход часов, систематические смещения) в глобальном масштабе через спутники L-диапазона или сеть Интернет. Общая инфраструктура системы показана на схеме (Рисунок 1).

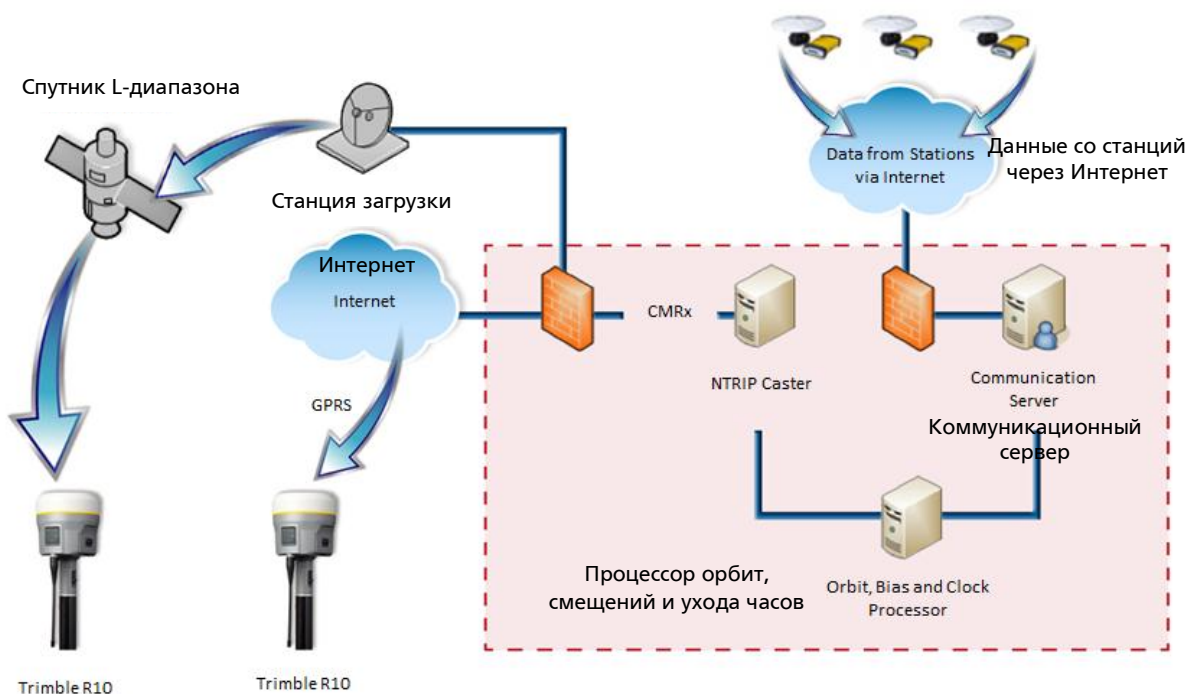


Рисунок 1. Инфраструктура технологии позиционирования Trimble RTX

Данные собираются со станций мониторинга по всему миру и передаются через интернет в центры управления. Центры управления (обведены красной пунктирной линией на Рисунке 1) имеют многократное резервирование для обеспечения очень высокой степени надежности работы (~100%). В случае необходимости, формирование потока поправок может быть автоматически переключено на резервный центр управления и/или на другой сервер обработки данных внутри центра. Внутри центров управления также многократно резервированные коммуникационные серверы передают данные наблюдений сети на серверы обработки данных. Эти серверы, выполняющие роль ведущего узла при сетевой обработке, вычисляют точные орбиты, параметры ухода часов спутников и модели смещений наблюдений, пригодные для использования в любой точке земного шара.

Сформированные сетевыми процессорами точные спутниковые данные упаковываются в специально разработанные для компактной передачи спутниковой информации сообщения, совместимые с форматом CMRx и предназначенные для поддержки RTK измерений, технологий Trimble RTX и Trimble xFill. Затем эти сообщения передаются через станции загрузки на спутники или через сеть Интернет для обеспечения доступа к ним пользователей (например, с помощью сотовых GPRS сетей).

На сегодняшний день сеть мониторинга Trimble RTX включает в себя около 100 станций, разбросанных по всему миру, как показано на Рисунке 2.



Рисунок 2. Станции сети слежения Trimble RTX

### **TRIMBLE XFill: КОНЦЕПЦИЯ**

Использование технологии Trimble xFill в приемнике Trimble R10 позволяет ему пользоваться всеми преимуществами технологии Trimble RTX при выполнении RTK измерений от одиночной базовой станции или в сети VRS.

Большинство современных RTK систем используют радио или сотовую связь (через Интернет) для получения поправок от базовых станций. В этом случае в качестве источника поправок может выступать как отдельная физическая базовая станция, хорошо знакомая геодезистам по выполнению традиционной RTK съемки, так и сеть VRS, формирующая поправки с использованием данных от нескольких приемников в сети. Расстояние между приемниками в сети обычно составляет от 40 до 70 километров, однако благодаря VRS создается виртуальная базовая станция, «расположенная» вблизи места расположения приемника в начале съемки. На Рисунке 3 показаны два типа потоков RTK поправок.



Рисунок 3. Возможные источники поправок для большинства RTK систем: одиночная физическая базовая станция или VRS сеть

Технология Trimble xFill помогает обычным RTK системам в случае потери соединения с основным источником поправок: базовой станцией или сетью VRS. На Рисунке 4 показан типичный случай потери радиосвязи из-за затенения радиосигнала зданием. Потеря соединения при RTK съемке происходит, например, когда между подвижным и базовым приемником находится здание, мешающее прохождению радиосигналов и вызывающее прерывание съемки. Аналогичная ситуация возникает при работе в VRS сети между высотными зданиями или в горах, где препятствия блокируют связь с вышками сотовой связи.

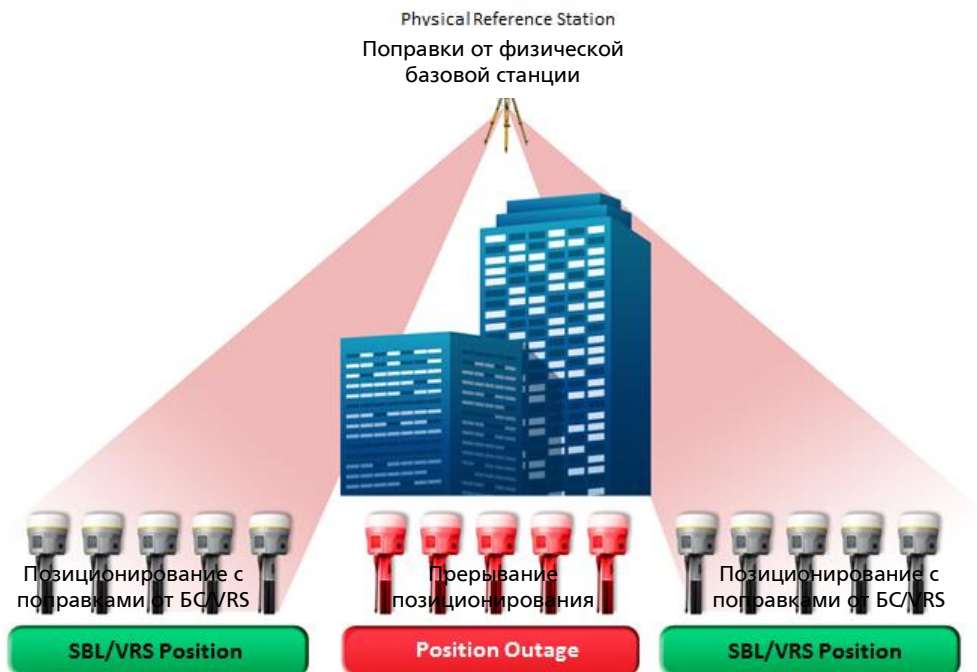


Рисунок 4. Прерывание RTK съемки, вызванное затенением радиосигнала зданием

В настоящее время технология Trimble RTX используется отдельными сервисами позиционирования для решения задач, не связанных с геодезией. Технология Trimble xFill – это стандартная функция Trimble R10, которая не является отдельным сервисом позиционирования, хотя и использует инфраструктуру RTX для дополнения стандартных методов RTK/VRS измерений. С внедрением Trimble xFill пользователям Trimble RTK стало доступно множество различных потоков GNSS поправок, как показано на Рисунке 5.

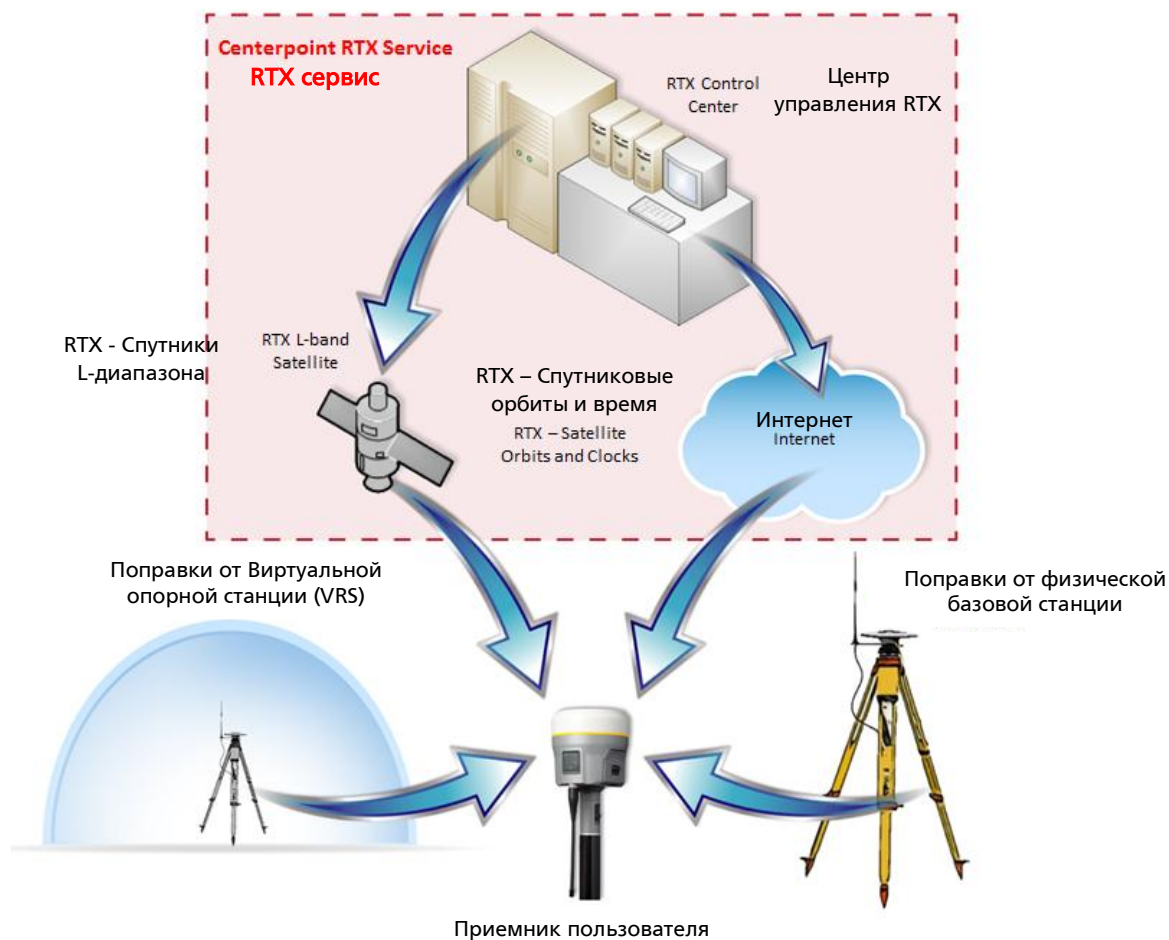


Рисунок 5. Поток GNSS поправок, доступные пользователям Trimble RTK благодаря Trimble xFill

В зонах покрытия спутниковыми сигналами Trimble RTX, приемник Trimble R10 с Trimble xFill принимает поправки от одиночной базовой станции или от сети VRS и, одновременно, поток данных RTX. При потере RTK поправки, например, в случае, показанном на Рисунке 4, поправки Trimble RTX обеспечивают способ сохранения высокоточных RTK измерений с использованием только GNSS наблюдений. Происходит «заполнение разрывов», вызванных потерями основного потока поправок (отсюда и название - "xFill"). На Рисунке 6 показано как будет работать приемник Trimble R10 при потере основного потока поправок.

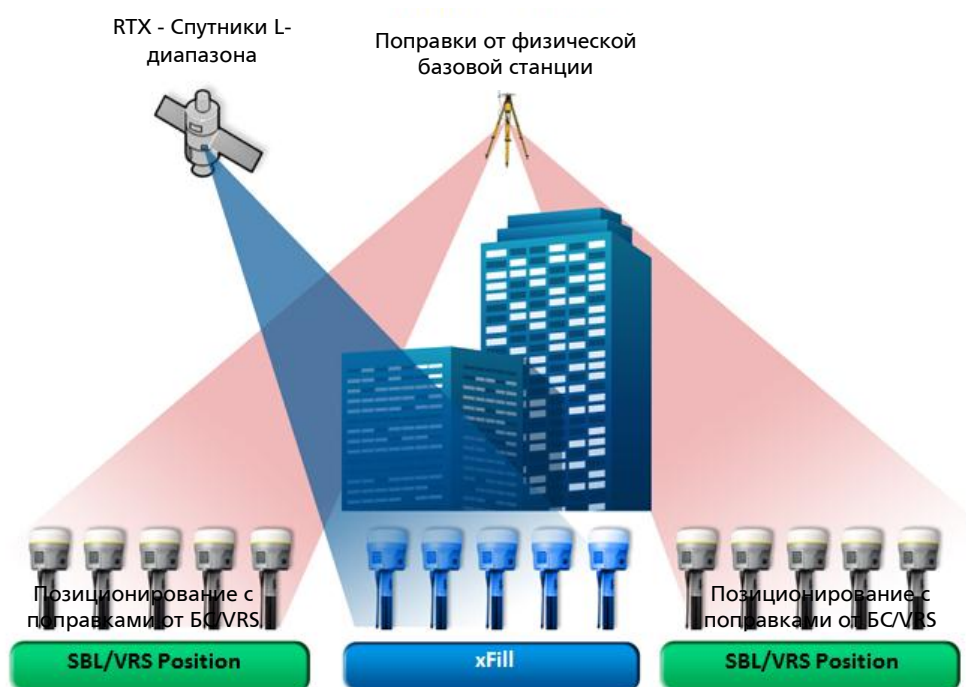


Рисунок 6. Работа приемника R10 с технологией Trimble xFill

Поскольку поправки Trimble RTX передаются по независимому каналу связи (через спутники L-диапазона), они обычно бывают доступны там, где нет приема сигналов от базовой станции с помощью радиомодемов. Радиосигналы наземных станций часто блокируются препятствиями, но при этом сохраняется хороший обзор небосвода и прием сигналов Trimble xFill в L-диапазоне. Расширенные возможности приема GNSS сигналов в Trimble R10 позволяют отслеживать достаточное количество спутников для работы Trimble xFill даже в сложных условиях. Приемник способен непрерывно вести RTK съемку при прохождении зон с отсутствием приема радиосигналов.

Приемник принимает сигнал Trimble RTX непрерывно, пока сохраняется прямая видимость спутника L-диапазона. Поэтому продление работы в RTK режиме при приеме этого сигнала производится мгновенно.

Таким образом, функция Trimble xFill позволяет геодезистам, работающим с Trimble R10, значительно повысить производительность съемки там, где прием основного потока поправок затруднен, но доступен прием сигнала Trimble RTX.



## КАК ЭТО РАБОТАЕТ?

Чтобы понять, как работает Trimble xFill, будет полезным вернуться назад и вспомнить принципы дифференциальных RTK измерений: традиционных, с использованием одиночной базовой станции, а также VRS систем.

При обработке GNSS измерений данные базовой станции и подвижного приемника сравниваются, при этом предполагается, что ошибки, влияющие на точность наблюдений на этих приемниках, почти одинаковы. Среди общих ошибок наибольшее влияние оказывают: дрейф часов спутника, ошибки определения орбиты спутника, атмосферные явления и погрешности измерений. Поскольку величины этих ошибок практически одинаковы как на базовой станции, так и на мобильном приемнике, при объединении двух наборов измерений с этих приемников они взаимоисключаются. Величина остаточных погрешностей обычно так мала, что позволяет выполнять относительное определение координат с сантиметровой точностью, как показано на Рисунке 7.



Рисунок 7. Моделирование ошибки дифференциальных RTK измерений при работе с одиночной базовой станцией или VRS

Технология Trimble xFill позволяет определять координаты с таким же уровнем точности, как и при традиционной RTK съемке, поскольку она устраняет те же самые ошибки, хотя и использует другие методы. Это обусловлено тем, что при потере радиосвязи доступны данные только подвижного приемника. Дрейф спутниковых часов, нестабильность орбит, погрешности измерений, которые компенсируются при дифференциальной обработке в обычном RTK режиме, теперь моделируются и передаются как часть потока Trimble RTX. Вычисленные значения величин этих эффектов учитываются при обработке данных измерений подвижного приемника. Атмосферные ошибки компенсируются с помощью алгоритмов, специально разработанных для систем Trimble RTX, снижая любые остаточные погрешности до уровня, приемлемого при высокоточных GNSS измерениях. В результате, весь процесс обработки данных по технологии Trimble RTX обеспечивает получение остаточных

погрешностей спутниковых наблюдений на уровне, сравнимом с результатами дифференциальной RTK коррекции, как показано на Рисунке 8. Несмотря на то, что различные ошибки моделируются, а не взаимоуничтожаются при объединении с данными базовой станции, качество работы алгоритмов процессора Trimble RTX (показан на Рисунке 1) так высоко, что точность определения координат с xFill сравнима с характеристиками, получаемыми при традиционной дифференциальной RTK съемке.



Рисунок 8. Моделирование ошибок в Trimble RTX

При моделировании ошибок и передаче потока поправок Trimble RTX в L-диапазоне обеспечивается настолько высококачественная коррекция, что она близка по характеристикам к традиционной дифференциальной RTK коррекции. Следовательно, появляется возможность использования Trimble xFill для продолжения RTK съемки при потере приема поправок от базовой станции без существенного понижения точности измерений, необходимой для геодезических приложений (как показано на Рисунке 9).

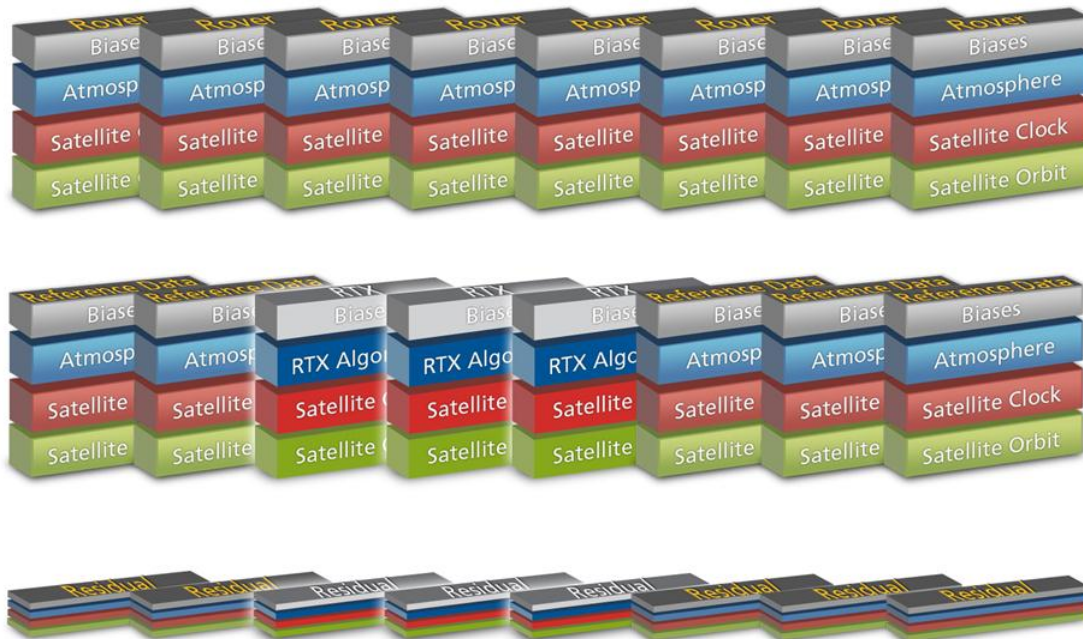


Рисунок 9. Работа Trimble xFill при потере приема данных базовой станции

Окончательные остаточные погрешности в основном вызваны местными условиями приема подвижным приемником, например, наличием переотраженных сигналов. Эти эффекты являются общими для различных методов дифференциальной коррекции.

## ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Одним из важнейших преимуществ технологии Trimble xFill является постоянная готовность к работе при потере радиосигнала в RTK. При ее запуске не существует даже малых задержек, таких, к примеру, как при первом запуске RTK из-за необходимости разрешения фазовой неоднозначности. Выполнение RTK съемки с Trimble xFill начинается сразу же после потери приема основного источника поправки, плавно заполняя пропуски в измерениях, которые могли бы произойти. Trimble xFill становится доступной сразу же после начала съемки и первого определения RTK координат.

Различные пользователи RTK используют различные системы отсчета координат. Хотя для вычислений и формирования потока поправок Trimble RTX используется Международная общеземная система отсчета 2008 года (ITRF08), однако для обработки Trimble xFill выдаются координаты в той же системе отсчета, которая используется при RTK измерениях с помощью одиночной базовой станции или VRS. Для обеспечения наилучшей производительности при RTK съемке необходимо выбирать систему отсчета, максимально близкую к ITRF08 (или WGS84). Дополнительную информацию вы найдете в листе технических характеристик R10.

Если говорить о точностных характеристиках, то Trimble xFill позволяет получить точность координат в плане равную точности RTK + 10 мм/минуту (СКО). (См. *Таблица 1.*

*Характеристики Trimble xFill* в конце этой брошюры.)

Реальные характеристики будут зависеть от количества наблюдаемых спутников, их геометрии и наличия переотраженных сигналов. При включении режима Trimble xFill ошибка координат растет медленно и в основном линейно; это отражается в постепенном снижении выводимой текущей точности. Поэтому никаких специальных действий выполнять не требуется. Если прием сигнала основного источника поправок возобновить не удастся, то при превышении заданного допуска по точности для текущего режима съемки (например, при съемке точек, опорных пунктов или при непрерывной кинематике) автоматическое сохранение точек прекратится. Как только прием основного источника поправок возобновится, пусть даже и на секунду, оценка точности «сбрасывается» до исходного уровня, который был до переключения на Trimble xFill (зависит от изменения спутниковой ситуации). Даже постоянные обрывы связи оказывают небольшое влияние на точность RTK измерений. Проблемы могут возникнуть только при длительном отсутствии связи с основным источником. В настоящее время Trimble

R10 может продолжать определять координаты в режиме Trimble xFill в течение 5 минут с момента потери RTK поправок.

Для достижения оптимального качества измерений также необходимо непрерывно отслеживать сигналы GNSS, что иногда становится невозможным при перекрытии этих сигналов препятствиями вместе с сигналом основного источника поправок. Это может произойти, например, при работе вблизи высотных зданий. При вычислении координат Trimble xFill всегда добавляет новые доступные спутники, поэтому все срывы слежения оказывают влияние на точность решения. Кратковременные потери сигналов GNSS спутников могут приводить к снижению точности, если геометрия спутникового созвездия ухудшится. Этот эффект известен как увеличение параметра PDOP (снижение точности в пространстве), и он влияет на все методы GNSS позиционирования (не только на Trimble xFill). Если число наблюдаемых спутников становится меньше четырех, то решение Trimble xFill прекращается до тех пор, пока не восстановится радиосвязь и число наблюдаемых спутников будет не менее пяти. (Если отслеживается менее пяти GPS спутников, то минимально необходимое количество спутников может быть различным и зависит от комбинации наблюдаемых GNSS спутников.) Все это аналогично традиционной RTK съемке, требующей для работы не менее четырех спутников. Кроме того, встроенный в Trimble R10 процессор Trimble HD-GNSS обеспечивает быструю сходимость решения к точности геодезического уровня при работе всего с пятью спутниками.

На рисунках 10 и 11 показаны реальные графики точности позиционирования, полученные при тестировании Trimble xFill. На каждом рисунке показан 5-ти минутный интервал работы с VRS, а затем 5-ти минутный интервал работы xFill при отключенном основном источнике поправок. Эти примеры показывают последовательный дрейф точности xFill, сопровождающийся увеличением ошибки координат в плане и по высоте. Заметьте, что текущая версия микропрограммы R10 ограничивает время работы xFill пятью минутами для обеспечения требуемого уровня точности измерений, используемого в Trimble Access для различных задач.

Ошибка координат в плане:  
Переход от VRS к xFill

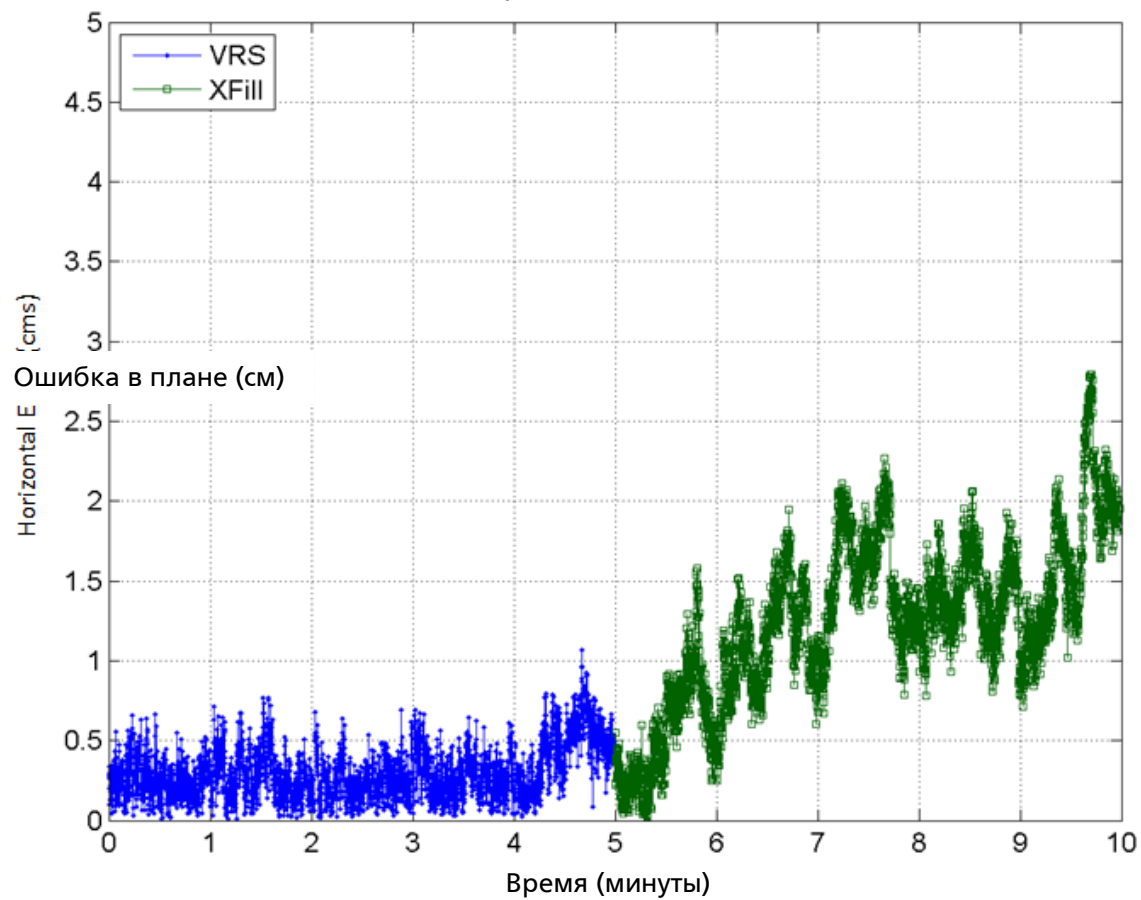


Рисунок 10. Ошибка определения координат в плане при работе в режиме Trimble xFill

Ошибка координат по высоте:  
Переход от VRS к xFill

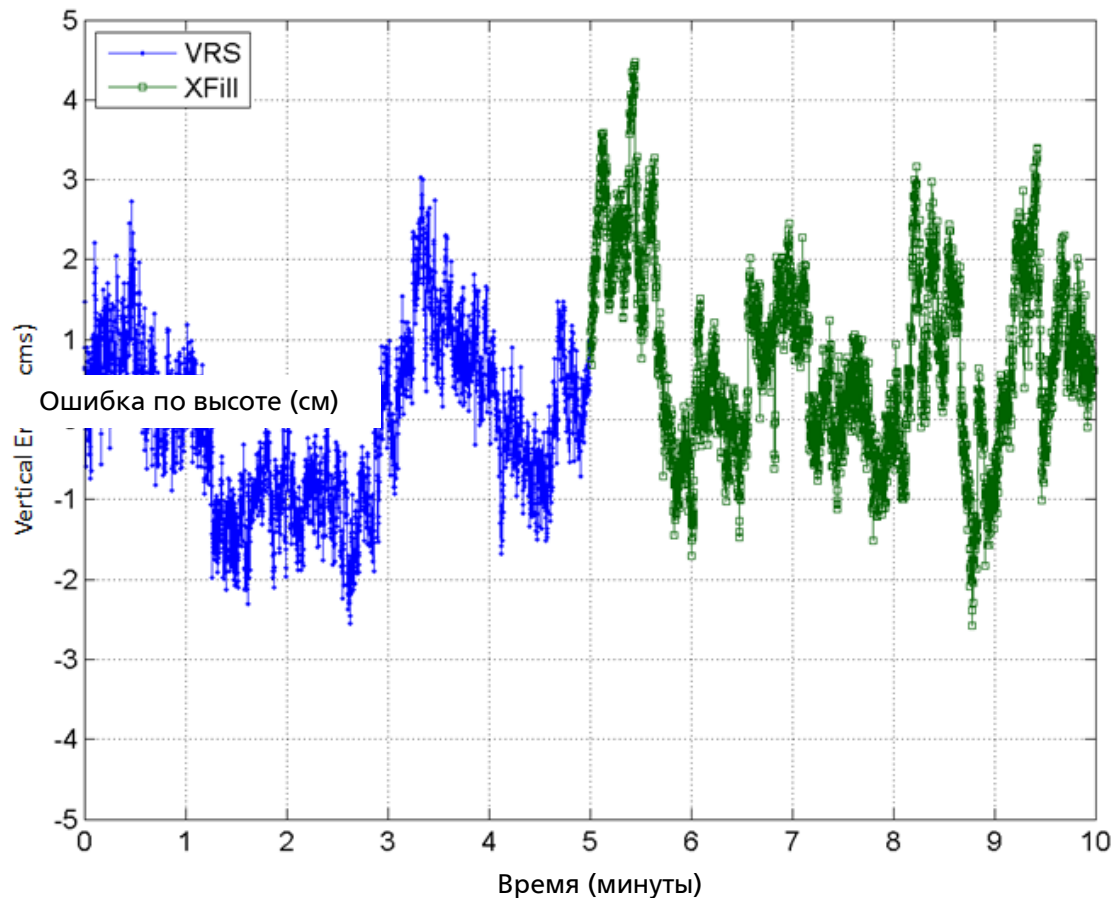


Рисунок 11. Ошибка определения координат по высоте при работе в режиме Trimble xFill

## РАБОТА TRIMBLE XFill С TRIMBLE ACCESS И TRIMBLE BUSINESS CENTER

Trimble xFill используется в RTK съемках с приемником Trimble R10 и полевым ПО Trimble Access. При потере приема потока RTK поправок, Trimble Access автоматически переключается с RTK на Trimble xFill. Переход происходит мгновенно и незаметно для пользователя. При включении режима Trimble xFill, в строке состояния Trimble Access рядом с оценкой точности отображается надпись "xFill", как показано на Рисунке 12.

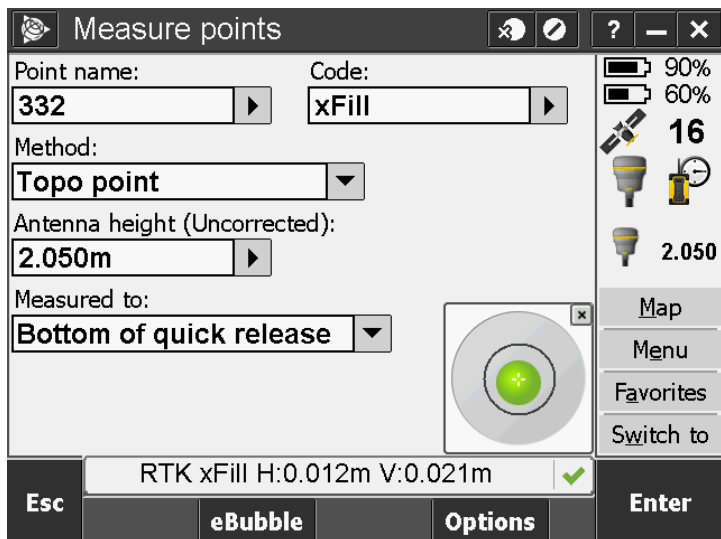


Рисунок 12. Trimble Access выводит надпись "xFill" при включении режима Trimble xFill

Измерение точек возможно, пока значения точности находятся в заданных пользователем пределах. При превышении допуска по точности, Trimble Access меняет зеленую галочку на красный знак "x", показывая, что измерение точек невозможно. Для продолжения съемки необходимо восстановить прием основного потока RTK поправок.

Trimble Access сохраняет наблюдения Trimble xFill как векторы RTK. Эти наблюдения можно импортировать в офисное ПО Trimble Business Center, как показано на Рисунке 13, где точки Trimble xFill можно будет уравнивать относительно базовой станции RTK или в сети вместе с остальными точками RTK съемки.

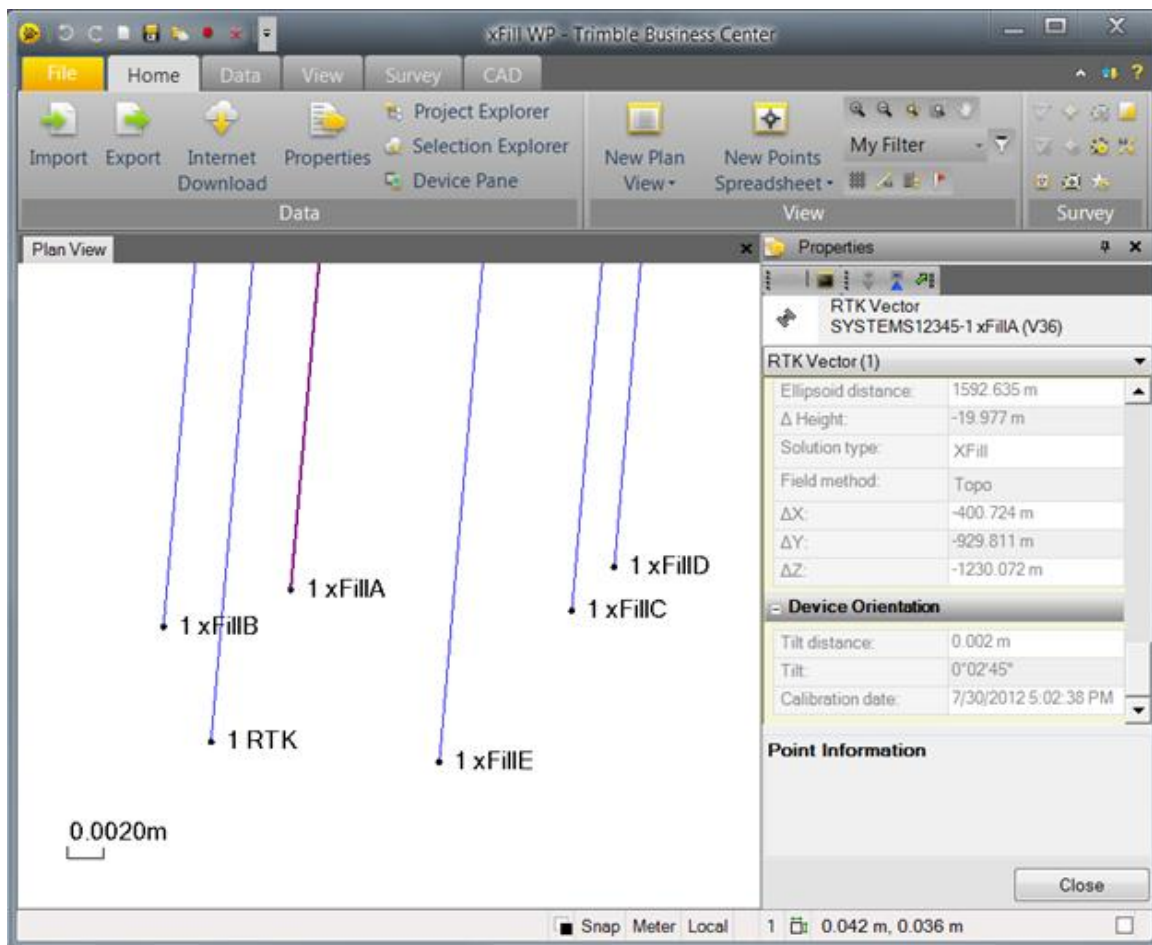


Рисунок 13. Наблюдения Trimble xFill в ПО Trimble Business Center

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новейшая технология Trimble xFill разработана Trimble для того, чтобы пользователи RTK могли воспользоваться преимуществами спутникового сервиса L-диапазона Trimble RTX. Традиционные методы, используемые при дифференциальной обработке RTK измерений, дополняются моделированием и оценкой основных ошибок GNSS – точности определения орбит, дрейфа спутниковых часов и систематических ошибок.

Технология Trimble xFill, впервые реализованная в приемнике Trimble R10, позволяет заполнить пропуски при передаче поправок RTK, вызванные потерей радиосвязи или интернет соединения. При этом она позволяет сохранять высокий уровень точности измерений на протяжении нескольких минут после потери связи. При автоматическом запуске Trimble xFill не существует никаких задержек. При решении задач, требующих меньшей точности, Trimble xFill может работать более длительный период. Помехи при приеме



радиосигнала больше не оказывают влияния на процесс полевых работ, что позволяет выполнять съемку быстрее и с высокой производительностью.

Характеристики xFill приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристики Trimble xFill

Характеристики Trimble xFill	
Время приема основного источника поправок RTK (от одиночной базовой станции или VRS) перед включением Trimble xFill	Одно измерение с требуемой точностью
Время переключения на Trimble xFill	Ноль
Максимальное время отсутствия основного источника RTK поправки	5 минут
Типовая точность в плане <sup>1</sup>	RTK <sup>2</sup> + 10 мм/минуту СКО
Типовая точность по высоте <sup>1</sup>	RTK <sup>2</sup> + 20 мм/минуту СКО
Система отсчета	Такая же, как и у основного источника RTK поправок
<p>Примечания:</p> <p>1. Точность зависит от числа доступных GNSS спутников. Позиционирование xFill прекращается через 5 минут после потери радиосвязи. При использовании одиночной базовой станции для работы xFill антенну базовой станции необходимо размещать в пределах 2 метров от точки с координатами, известными в мировой системе отсчета, например в WGS-84. При установке одиночной базовой станции с помощью кнопки "Здесь" в ПО Trimble Access, необходимая точность обычно достигается только при использовании сигналов WAAS или EGNOS. Пользователи VRS сетей должны убедиться, что сеть настроена для работы в известной системе отсчета координат.</p> <p>2. RTK означает последнюю полученную точность координат в RTK перед потерей связи и запуском xFill.</p>	