

# Применение спутниковой навигации для определения местоположения поездов в системах СЦБ

*Применение современных технологий в области систем сигнализации предъявляет новые требования к способам определения местоположения поездов. Систему определения местоположения поездов на основе глобальной спутниковой навигационной системы GNSS/Galileo отличает отсутствие каких-либо напольных устройств. Ниже анализируются результаты выполнения различных проектов, которые позволяют оценить уровень обслуживания и параметры производительности системы на основе спутниковой навигации, а также требования к такой системе, предназначенной для обеспечения безопасности движения поездов.*

В настоящее время для определения местоположения поездов используются преимущественно напольные устройства. Однако с распространением европейской системы управления движением поездов ETCS будет расширяться внедрение интеллектуальных бортовых устройств. Эта тенденция затронет и функции определения местоположения.

Система определения местоположения поездов на основе европейской глобальной спутниковой навигационной системы Galileo, в которой не нужны напольные устройства, имеет целый ряд преимуществ перед существующими технологиями контроля свободности пути. Система на базе Galileo обеспечивает эксплуатационную совместимость железнодорожного подвижного состава и будет иметь более низкую стоимость по сравнению с применяемыми в настоящее время устройствами. Наиболее выгодно будет использовать такую систему на малонапряженных линиях, где из-за низких доходов от эксплуатации оператор не может устанавливать дорогостоящие устройства СЦБ.

## Использование системы спутниковой навигации для определения местоположения поездов

Работа средств обеспечения безопасности движения на железных дорогах основана на информации о местоположении поездов. Исходные данные о мес-

тоположении каждого поезда используются при сигнализации о занятости путей, управлении стрелками и выдаче машинистам команд на движение. Передача бортовым устройствам функций определения местоположения поезда позволяет расширить их возможности.

В новой системе, основанной на спутниковой навигации, вместо информации о направлении движения используются данные о последовательном занятии поездом участков пути. Для предотвращения возможных конфликтов необходима идентификация поездов, которая должна обеспечить запись в системе данных об изменении местоположения каждого поезда и его скорости.

В настоящее время для автоматического определения местоположения поездов служат рельсовые цепи или счетчики осей подвижного состава. Эти устройства проверяют, свободен ли определенный участок пути и может ли он быть занят поездом. Железные дороги разных стран разработали собственные системы сигнализации, но эксплуатируют устройства контроля свободности пути, основанные на общих принципах. Из-за разных способов сигнализации, разных методов передачи информации о свободности пути и языкового барьера значительно затрудняется движение поездов в международных сообщениях.

Тенденция к либерализации в транспортном секторе приведет к усилению конкуренции железных дорог с другими видами транспорта. Для обеспечения эксплуатационной совместимости железных дорог Европы наряду с внедрением системы ETCS необходимо разработать совместимую систему определения местоположения поездов. Этому требованию наилучшим образом удовлетворяет система на базе спутниковой навигации (GNSS), поскольку в ней не требуется напольное оборудование. Кроме того, в последние годы стоимость устройств спутниковой навигации существенно уменьшилась и составляет менее 100 евро за приемник.

Появление надежных служб спутниковой навигации (сначала оверлейной европейской службы EGNOS, а в будущем — системы Galileo) сделает возможным их использование для решения ответственных задач, связанных с обеспечением безопасности движения поездов.

## Службы и технические параметры систем GNSS

При приеме достаточного числа сигналов от навигационных спутников имеется возможность определить местоположение, скорость движения приемника, а также точное время. Для получения этих параметров для трех измерений необходимы сигналы как минимум от четырех навигационных спутников. Существующие в настоящее время спутниковые навигационные системы (американская GPS и российская ГЛОНАСС) могут использоваться для гражданских целей, однако находятся под контролем военных. В них не гарантируются качество обслуживания и целостность системы, поэтому для ответственных приложений необходимо дополнительно применять системы EGNOS (доступна с конца 2004 г.) и Galileo (будет доступна после 2008 г.).

В соответствии с европейской стратегией в области спутниковой навигации она станет основным средством определения местоположения на транспорте. В Европе предусмотрено внедрять GNSS в два этапа:

- на первом этапе вводится оверлейная система EGNOS. Европейские страны разворачивают EGNOS как дополнение к GPS и ГЛОНАСС с тем, чтобы реализовать услуги спутниковой навигации для гражданских потребителей. Однако EGNOS не имеет достаточного контроля над спутниковыми системами;
- на втором этапе разворачивается спутниковая система Galileo, которая наряду с общедоступными услугами, подобными тем, которые предоставляет GPS для гражданских пользователей, предлагает новые возможности, в числе которых улучшенное и гарантированное обслуживание.

В системе EGNOS предусмотрены услуги трех видов:

- трансляция сигналов для измерения расстояния, подобных сигналам GPS;
- дифференциальная коррекция для повышения точности позиционирования с использованием GPS и ГЛОНАСС, причем эта услуга доступна в регионе большой площади;
- передача информации о целостности системы для предупреждения о нарушении работы навигационных спутников GPS или ГЛОНАСС.

Возможности Galileo, основанные исключительно на информации от навигационных спутников, охватывают пять базовых служб:

- общедоступную (Open Service — OS);
- обеспечения безопасности людей (Safety of Live — SoL);
- коммерческую (Commercial Service — CS);
- общественного регулирования (Public Regulated Service — PRS);

### Технические параметры системы EGNOS

Точность позиционирования по горизонтали, м. . . . .	16
Точность позиционирования по вертикали, м. . . . .	от 7,7 до 4,0
Риск потери целостности (в любом интервале 150 с). . . . .	$2 \cdot 10^{-7}$
Время до выдачи сигнала оповещения об отказе (ТТА), с. . . . .	6
Горизонтальная граница до выдачи сигнала оповещения об отказе (HAL), м. . . . .	40
Вертикальная граница до выдачи сигнала оповещения об отказе (HAL), м. . . . .	от 20 до 10
Риск отсутствия непрерывного приема сигнала (в любом интервале 150 с). . . . .	$8 \cdot 10^5$

- поддержки службы поиска и спасения (Search and Rescue — SAR).

Целевой рынок службы SoL охватывает, в частности, приложения, связанные с обеспечением безопасности на железнодорожном транспорте. Эта служба с возможностями контроля целостности, аутентификации и гарантированного обслуживания. Способность к аутентификации (например, посредством цифровой подписи) позволяет пользователю убедиться, что приемник действительно получает сигнал от системы Galileo. Это свойство системы прозрачно для пользователей, недискриминационно и не ведет к снижению производительности.

### Параметры систем EGNOS и Galileo

Услуги EGNOS полностью покрывают территорию всех стран — членов Евросоюза. Сигналы этой системы принимаются в Европе и в большинстве регионов Азии, однако некоторые услуги, в частности коррекция из-за изменений в ионосфере, не поддерживаются за пределами Европы.

Точность по горизонтали, равная 16 м, отвечает требованиям, предъявляемым воздушным транспортом. Собственно, эта точность должна быть более высокой по сравнению с точностью по вертикали, поскольку геометрия спутниковой группировки в горизонтальной плоскости существенно выше. Реальная достижимая точность по горизонтали должна быть не менее  $\pm 4$  м.

Служба SoL системы Galileo обеспечивает такую же точность измерений, включая данные о доступной точности (аналогичные услуги предусмотрены службой OS). Важнейшее отличие службы SoL от OS состоит в предоставлении информации о целостности системы в любом месте. Для приложений, связанных с обеспечением безопасности на железнодорожном транспорте, предусмотрен уровень А службы SoL (табл. 1).

Сигналы службы SoL транслируются на разных частотах, чтобы повысить их устойчивость к интерференции и корректировать ошибки, обусловленные состоянием ионосферы.

Службы, построенные исключительно на использовании системы Galileo, могут быть усовершенствованы

Таблица 1

Технические параметры службы SoL			
Параметры приемника	Несущая	Одна или две частоты	
	Определение целостности	Да	
	Коррекция искажений, вносимых ионосферой	Основана на двухчастотных измерениях	
Точность (в 95 % случаев)		4 м по горизонтали, 8 м по вертикали	
Уровни службы		Уровень А	Уровень В
Зона действия		Только на суше	Весь земной шар
Целостность	Граница до выдачи сигнала оповещения	40 м по вертикали, 20 м по горизонтали	556 м по горизонтали
	Время до выдачи сигнала оповещения	6 с	10 с
	Риск потери целостности	$3,5 \cdot 10^{-7}$ в любом интервале 150 с	$10^{-7}$ в любом интервале 1 ч
Риск потери непрерывности измерений		$8 \cdot 10^{-6}$ в любом интервале 15 с	от $10^{-4}$ до $10^{-8}$ в любом интервале 1 ч
Готовность функции контроля целостности		99,5 %	
Доступность номинальной точности		99,8 %	

ваны за счет их комбинирования с локальными компонентами (например, дифференцированная GNSS или применение GSM-R). Оконечные устройства могут принимать посредством сети GSM-R данные дифференциальной коррекции, что позволит улучшить технические параметры, например, повысить точность измерений до величины менее 1 м и сократить время до выдачи оповещения об отказе до 1 с.

Приведенные технические параметры системы Galileo рассчитаны на замеры на уровне пользователя в нормальных условиях, т. е. без намеренного искажения сигнала, чрезмерной интерференции, экстремальных ионосферных и топосферных эффектов, с углом затенения  $10^\circ$  и в обстановке с небольшим числом отражений спутниковых сигналов.

В системе Galileo планируется предлагать гарантию обслуживания для всех приложений, в которых сбои в работе службы влияют на безопасность или могут повлечь за собой значительные экономические последствия. Решающие вопросы состоят в том, что и кто именно будет гарантировать и на каких условиях.

Процедура сертификации, которая охватывала бы и распространение сигналов в космосе, и оконечные устройства, в настоящее время еще разрабатывается. Компания GOC — оператор системы Galileo берет

на себя обязательство обеспечить сохранение качества транслируемого спутниками сигнала на уровне конечного пользователя при заданных условиях для конкретной службы. В случае если сигнал, распространяемый в космосе, не достигает определенных границ точности, пользователям выдается соответствующее предупреждение.

В условиях железнодорожного транспорта номинальные условия встречаются сравнительно редко. Качество сигнала в космосе может быть гарантировано, но при определенных обстоятельствах невозможно гарантировать качество измерения местоположения на уровне конечного пользователя. Контроль целостности позволяет в первую очередь распознавать сбои в работе навигационных спутников и искажения при распространении сигнала. Реализовать приведенные в табл. 1 обязательства в отношении производительности системы при использовании обычного приемника спутниковой навигации невозможно. Требуемый уровень качества системы определения местоположения может быть достигнут только путем применения дополнительных датчиков. Гарантия обслуживания является важным отличием Galileo от системы GPS, поэтому для ее предоставления необходима совместная работа компаний GOC, изготовителей приемников с дополнительными датчиками и железнодорожных операторов, которые должны сформулировать требования к системе определения местоположения со стороны прикладных систем.

### Требования, выдвигаемые прикладными системами

Для разных приложений, связанных с обеспечением безопасности, существуют разные требования в отношении точности, эксплуатационной готовности и целостности. Часть из них выходит за рамки технических параметров системы Galileo. Например, в технических требованиях к системе локомотивной сигнализации ETCS точность определения местоположения составляет  $\pm 5 \text{ м} + 5 \% \text{ от } s$  (или  $\pm 5 \text{ м} + 2 \% \text{ от } s$  как желаемый показатель), где  $s$  — пройденный путь с момента последней калибровки импульсного колесного датчика; вероятность выхода из строя импульсного колесного датчика должна быть менее  $10^{-7}$ , а риск потери целостности системы определения местоположения не превышает  $6 \cdot 10^{-11}$  в час.

Эти требования очень высоки (особенно в отношении эксплуатационной готовности и целостности). К системе АЛС на базе спутниковой навигации устанавливаются более низкие требования, поскольку она дополняет существующие устройства. Однако и здесь следует проанализировать возможность выполнения предъявленных требований системой Galileo.

Часто полагают, что параметры Galileo могут быть улучшены за счет локальной коррекции сигналов службы SoL, что позволяет выполнять более высокие требования. Однако улучшение параметров достигается преимущественно на уровне сигналов в космосе. На уровне пользователя ожидаемого улучшения не будет, поскольку определение местоположения на основе GNSS сильно зависит от местных условий (например, затенений).

Применение интегрированного решения на основе GNSS и опорных датчиков способно удовлетворить поставленным требованиям. При этом спутниковая навигация служит только для калибровки опорных датчиков.

Такая интегрированная система обладает рядом преимуществ по сравнению со спутниковой навигацией в исходном виде, поскольку доступность и непрерывность определения местоположения могут быть улучшены, если точность GNSS недостаточна или в течение короткого времени не принимаются сигналы от спутников (например, в тоннелях). Кроме того, улучшается целостность системы за счет перекрестного контроля работы датчиков.

Задачей GNSS в интегрированной системе является предоставление эталонных значений для инициализации и калибровки средств измерения скорости и пройденного пути. Поскольку импульсный колесный датчик измеряет только пройденный путь и в процессе ускорения или замедления может выдавать неправильные показания вследствие юза или боксования, он может быть дополнен датчиками измерения частоты вращения и ускорения. Интеграция в систему других датчиков, например доплеровского радара, также возможна, но это решение, как правило, более дорогое.

Важным элементом интегрированной системы является электронный атлас железнодорожной сети, в координаты которого преобразуются данные GNSS и который позволяет оценивать точность и целостность спутниковой навигации.

### Тесты для оценки параметров GNSS I

Проект INTEGRAIL, финансируемый Европейским космическим агентством (ESA), направлен на использование спутниковой навигации на рельсовом транспорте. В рамках этого проекта компания Bombardier Transportation отвечала за разработку программного обеспечения для бортового устройства на базе GNSS I (т. е. систем GPS и EGNOS) и его испытания на поездах с целью валидации. Задача при этом состояла в оценке параметров системы (таких, как точность, целостность и эксплуатационная готовность) в реальной эксплуатации.

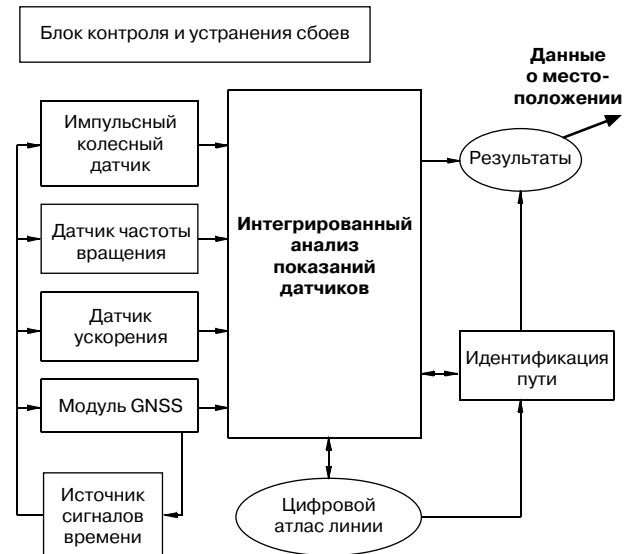


Рис. 1. Конфигурация датчиков в модуле INTEGRAIL

### Конфигурация модуля на базе GNSS

В зависимости от концепции прикладной системы и ее реализации возможны разные интерфейсы с бортовым оборудованием. Однако независимо от концепций и интерфейсов конфигурация датчиков в модуле на основе GNSS примерно одинакова. Конфигурация, использованная в рамках проекта INTEGRAIL, служит в качестве примера (рис. 1). Эта конфигурация может быть изменена за счет усовершенствования или появления новых датчиков (например, в результате замены GNSS I на Galileo).

Тестирование проводилось с февраля по ноябрь 2003 г. австрийской логистической компанией LogServ, которая отвечает за железнодорожные перевозки компании voestalpine Stahl и предоставила тепловоз для испытаний бортового устройства на базе GNSS. Испытания проводили на заводской территории в Линце и однопутной линии Линц — Штайрлинг длиной 70 км с четырьмя тоннелями, расположенной в гористой местности. Данные испытаний в течение 5790 ч были проанализированы для дальнейшей валидации.

### Верификация датчиков

GNSS. Примеры определения местоположения с помощью системы GNSS I на заводской территории приведены на рис. 2 и 3. Цифровой атлас путевого развития, предоставленный компанией LogServ, был обновлен путем замеров посредством дифференциальной GPS (измерение фазы несущей), которая обеспечивает точность в несколько сантиметров. Атлас путевого развития на заводской территории после этих замеров составляет  $\pm 10$  см. Он использовал-

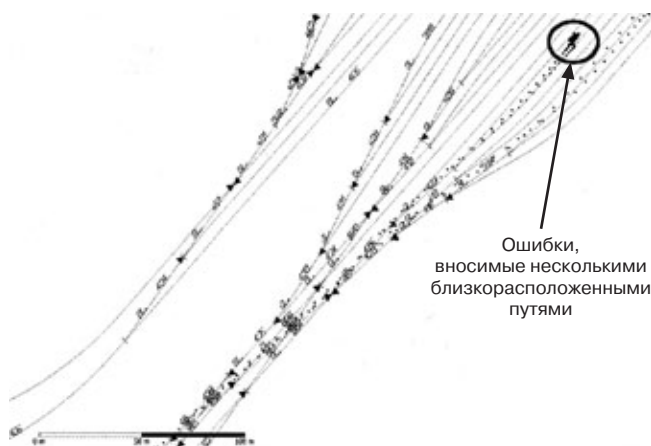


Рис. 2. Результат определения местоположения системой GNSS I с помехами из-за большого числа путей

ся в качестве эталона для валидации параметров GNSS I.

Ошибки определения местоположения средствами GNSS I составляли, как правило, менее 3 м (без учета погрешностей, вносимых несколькими близкорасположенными путями). Путь, занятый поездом, удавалось идентифицировать. Более того, был однозначно идентифицирован путь, который не был внесен в цифровой атлас. Однако точность измерений нельзя признать достаточной для очень надежного распознавания пути.

Погрешности, обусловленные наличием нескольких путей, в наибольшей мере проявляются в условиях, когда локомотив находится в местах плотной застройки. Ошибки в определении местоположения могут достигать при этом нескольких сотен метров, особенно если на зданиях есть металлические поверхности и спутниковая группировка имеет неудачную геометрию для определения местоположения. Решающими факторами риска при определении

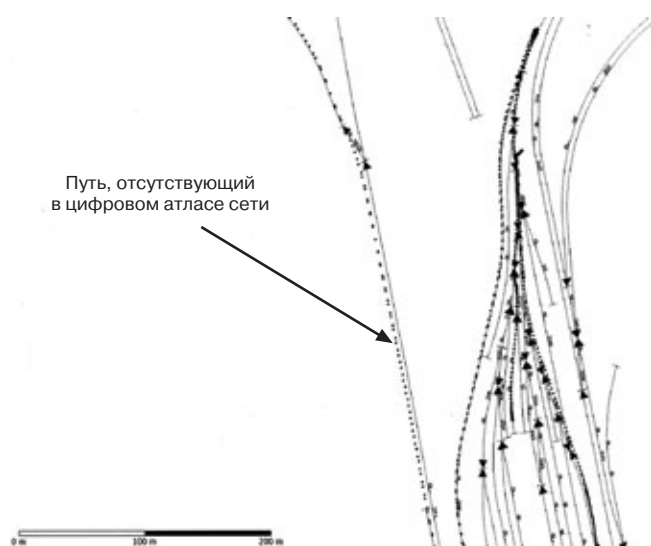


Рис. 3. Идентификация пути, отсутствующего в цифровом атласе

местоположения средствами GNSS являются наличие нескольких путей и затенение сигнала. Вероятность таких рисков значительно выше, чем вероятность сбоев сигналов в космосе.

**Датчики определения пройденного пути.** Импульсный колесный датчик, установленный на тепловозе LogServ, является очень точным устройством, дрейф его параметров составляет менее 1 %. Естественно, из-за юза и боксования точность измерений может ухудшаться.

Для определения пройденного пути применялся также датчик ускорения. Было выполнено сравнение результатов измерений этим датчиком (в сочетании с GNSS) и импульсным колесным датчиком (табл. 2). Точность в первом случае зависит не только от пройденного пути, но и времени поездки. Измеренное значение пройденного пути может меняться и в том случае, когда поезд не движется.

**Датчик частоты вращения.** Использованный в проекте INTEGRAIL датчик частоты вращения имеет диапазон измерений  $30^\circ/\text{с}$ , что достаточно для железнодорожного транспорта. Измеренные в ходе тестирования частоты вращения составляли менее  $10^\circ/\text{с}$ . Датчик основан на принципе волоконно-оптического гироскопа. Дрейф параметров зависит от температуры и в течение короткого времени может изменяться на величину  $0,005^\circ/\text{с}^2$  в диапазоне  $0,004^\circ - 0,02^\circ$  в секунду. По данным наблюдений, у некалиброванного датчика ошибка измерений угла поворота может составлять  $\pm 1^\circ/\text{мин}$ , что соответствует ошибке в поперечном направлении  $\pm 1,75$  м на 100 м. Для корректного определения местоположения поезда необходима регулярная калибровка датчика.

## Результаты испытаний

В табл. 3 приведены результаты испытаний в отношении точности измерений для комплекса датчиков с GNSS. Система на базе EGNOS демонстрирует заметно более высокую точность.

С 3 по 6 ноября 2003 г. одновременно выполнялись измерения бортовым устройством INTEGRAIL и эталонным прибором дифференцированной GPS, замерявшим фазы двух несущих частот. Точность этих эталонных измерений составила  $\pm 13$  см. Ниже приведены сравнительные результаты измерений (в этот период сигнал EGNOS был недоступен).

### Точность определения местоположения бортовым устройством INTEGRAIL по сравнению с эталонным прибором

Число проб.....	59 330
Среднее значение, м.....	3,635
Стандартное отклонение, м.....	5,422
Медиана, м.....	0,791

Таблица 2

Сравнение расстояний, измеренных импульсным колесным датчиком и датчиком ускорения в сочетании с GNSS

Дата испытаний	Направление движения	Разница между измеренными расстояниями на линии длиной 60 км, м	Длительность поездки, мин
4.11.2003	Линц — Штайрлинг	123	63
4.11.2003	Стейрлинг — Линц	163	86
5.11.2003	Линц — Штайрлинг	62 (на участке длиной 50 км из-за повторной инициализации во время поездки)	60
5.11.2003	Штайрлинг — Линц	592	124
6.11.2003	Линц — Штайрлинг	202	102
6.11.2003	Штайрлинг — Линц	934	164

Приведенные результаты подтверждают правильность выбранной конфигурации и использованных алгоритмов.

Эксплуатационную готовность системы оценивали по соотношению имевшихся наборов данных и длительности измерений. С апреля по ноябрь 2003 г. она составила 86 %, в начале ноября — 99 %. Низкая эксплуатационная готовность системы обусловлена тем, что в начальный период не все пути были занесены в цифровой атлас, поэтому передвижения по неизвестным или ошибочным (с точки зрения атласа) путям рассматривались как некорректные. Атлас был частично откорректирован по результатам замеров с использованием дифференцированной GPS. После такой коррекции эксплуатационная готовность выросла до 99 %.

Ввиду отсутствия эталонных значений целостность системы не оценивалась в ходе полевых испытаний. Вместо этого анализировались мероприятия по поддержанию требуемого уровня целостности системы.

### Некоторые эксплуатационные требования

#### Идентификация пути

Функция идентификации пути, на котором находится локомотив, тестировалась прежде всего на заводской территории в Линце путем верификации результатов работы бортового устройства INTEGRAIL по отношению к точному атласу путей. Здесь имеется сложное путевое развитие с большим числом стрелок. В этом случае очень трудно правильно идентифицировать путь посредством системы на базе GNSS, поскольку необходима высокая точность при измерении не только расстояния, но и угловых перемещений. Кроме того, существующая точность GNSS I, составляющая 2 – 3 м, все еще недостаточна для надежного распознавания пути.

Это, однако, не означает, что система определения местоположения на базе GNSS I не может использоваться в приложениях, влияющих на безопасность. С точки зрения точности она удовлетворяет поставленным требованиям на однопутных линиях с небольшим числом двухпутных вставок на станциях. Здесь надежная идентификация пути осуществляется интегрированной системой на базе GNSS I и датчика числа оборотов. Направление движения локомотива на однопутных линиях определяется однозначно, а значит, возможна корректная инициализация датчика частоты вращения. Кратковременное изменение направления движения, например при проходе стрелочного перевода, надежно определяется датчиком частоты вращения.

Кроме того, для идентификации пути может быть использована информация о положении стрелки. Если поезд следует по известному пути и положение стрелки также известно, легко можно определить, по какому пути за стрелкой этот поезд продолжит движение. В случае отжимной стрелки ее положение уже идентифицирует направление движения. На однопутных линиях с небольшим числом отжимных стрелок на станциях требуется только определение местоположения поезда в продольном направлении. Точность его составляет  $\pm 5$  м плюс 2 % от пройденного пути. Если положение стрелки известно только напольному оборудованию, то возможна передача

Таблица 3

Точность определения местоположения бортовым устройством INTEGRAIL в сравнении с данными цифрового атласа линии

Показатель	Система GNSS со службой EGNOS	Система GNSS без службы EGNOS
Число проб	149 393	66 816
Среднее значение, м	2,578	3,531
Стандартное отклонение, м	4,677	7,694
Медиана, м	0,878	0,807

этой информации на поезд или в модуль определения местоположения на базе GNSS. В результате задачи системы на базе спутниковой навигации не будут ограничиваться только определением местоположения поезда на пути, а требования к точности могут быть снижены.

#### *Сценарий инициализации системы определения местоположения на базе GNSS*

Большинство опорных датчиков измеряют только относительное положение — пройденный путь или изменившийся угол. Эти датчики могут помочь в определении местоположения только после корректной инициализации и калибровки. Если на участке только один путь, то инициализация не вызывает трудностей. Проблемы возникают, если требуется распознать один из нескольких параллельных путей. Если средствами GNSS не удастся удовлетворить требования к целостности определения местоположения, то подтверждения данных об исходном положении не будет.

Сценарий инициализации следует, вероятно, реализовывать другими средствами, доступными железным дорогам, не выдвигая слишком высокие требования к системе GNSS.

#### *Потенциал системы Galileo в ответственных приложениях*

С точки зрения технологического процесса только система Galileo способна гарантировать качество обслуживания. Поэтому до достижения полной работоспособности Galileo система GNSS может использоваться как средство повышения надежности, но не как первичный инструмент определения местоположения в приложениях, связанных с безопасностью движения поездов.

После ввода системы Galileo могут быть реализованы различные прогрессивные технологии, такие, как TCAR (тройное разрешение неоднозначности фазы несущей). С помощью TCAR в определенных условиях может быть достигнута точность определения местоположения  $\pm 20$  см, что позволит решить существующие технические проблемы. Появление Galileo может привести к изменению ряда эксплуатационных и технических концепций.

#### **Заключение**

Основываясь на результатах анализа и испытаний в рамках проекта INTEGRAIL, систему GNSS I (т. е. GPS в сочетании с EGNOS) можно рассматривать как первый шаг в процессе внедрения спутниковой навигации в системы обеспечения безопасности движения поездов в Европе. Точность определения местоположения в GNSS I достаточна для ответственных приложений на малодеятельных линиях. Если бы железные дороги реализовали некоторые из перечисленных выше мероприятий, то системы на базе GNSS I можно было бы распространить и на другие линии.

Эксплуатационная готовность средств определения местоположения поездов может быть повышена за счет применения опорных датчиков. Доступность службы EGNOS, которая в определенных местах оказывается ограниченной, можно улучшить за счет применения местных систем связи.

Высокие требования к целостности также не являются препятствием для применения спутниковой навигации. Риск потери целостности мало связан с распространением сигналов в космосе. Он определяется прежде всего многократным отражением сигналов и их затенением в конкретных условиях. Проблема решается путем интеграции в систему нескольких разных датчиков с перекрестной проверкой их показаний. По той же причине время до выдачи сигнала оповещения об отказе (ТТА), равное в системе EGNOS 6 с, не является критичной величиной для ответственных приложений, хотя для них ТТА не должно превышать 1 с.

Единственная существенная проблема состоит в отсутствии гарантии обслуживания в GNSS I, что не позволяет использовать систему в качестве основной. После ввода в эксплуатацию Galileo ситуация в этом отношении может измениться к лучшему.

Важным фактором, который определяет потребность в распространении спутниковой навигации на железнодорожном транспорте, является эксплуатационная совместимость. Поскольку GNSS не требует напольного оборудования, железные дороги могут обеспечить эксплуатационную совместимость средств определения местоположения поездов без инвестиций в инфраструктуру.

---

*X. Gu. Signal und Draht, 2005, № 1/2, S. 6 – 11.*