

**ОЛЕГ ТОНИ**

Вице-президент ОАО «РЖД»

АЛЕКСАНДР ГЕЛЬФГАТ

Заместитель генерального директора по инфраструктурным проектам и инновациям ОАО «Росжелдорпроект»

АЛЕКСАНДР СУВОРОВ

Директор Центра инновационных технологий ОАО «Росжелдорпроект»

УРАЛ САМРАТОВ

Заместитель начальника отдела спутниковых и геоинформационных технологий ОАО «Росжелдорпроект»

О СОЗДАНИИ ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ МОСКВА–САНКТ-ПЕТЕРБУРГ НА ОСНОВЕ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС/GPS/GALILEO

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р, и Федеральная целевая программа (ФЦП) «Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2008 г. № 377, предусматривают строительство скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Одним из приоритетных направлений скоростного движения пассажирских поездов является направление Центр — Юг (Москва — Адлер). Для организации скоростного движения на этом направлении требуется модернизировать инфраструктуру существующих железнодорожных линий с обеспечением скоростей движения 160–200 км/ч, а также построить в обход Украины новую линию Прохоровка — Журавка — Чертково — Батайск (протяженностью 748 км).

В перспективе до 2030 г. предусматривается строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) со скоростями движения поездов до 350 км/ч на следующих направлениях:

- 1) Санкт-Петербург — Москва (время движения около 2 ч 30 мин.);
- 2) Москва — Нижний Новгород (время движения около 1 ч 40 мин.);
- 3) Москва — Смоленск — Красное, в рамках международного транспортного коридора № 2 (время движения около 2 ч).

Инвестиции в строительство ВСМ оцениваются в рамках от 564,9 до 1 261,6 млрд рублей (в ценах 2007 года, без налога на добавленную стоимость и затрат на отвод земли).

Наука и практика, техника и нормы

Создание ВСМ невозможно без принятия новой нормативно-технической и правовой базы, в том числе без разрабатываемого в настоящее время технического регламента «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта».

23 ЯНВАРЯ 2008 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ОАО «РЖД»:

- одобрил для дальнейшей проработки «новгородский» вариант строительства ВСМ Санкт-Петербург — Москва;
- утвердил основные параметры проектирования ВСМ;
- принял решение о необходимости создания высокоточной координатной системы для проектирования, строительства и эксплуатации ВСМ;
- поручил ОАО «Росжелдорпроект» и ОАО «НИИАС» представить в 2008 г. план-график работ по созданию ВКС;
- поручил ОАО «Росжелдорпроект», ОАО «НИИАС» и ОАО «ВНИИЖТ» определить перечень нормативных документов, регламентирующих требования для проектирования ВСМ, и обеспечить их разработку и утверждение;
- поручил ОАО «РЖД» и ОАО «СМ» после подписания Указа Президента Российской Федерации представить предложения по статусу ВСМ, подготовке кадров для проектирования, строительства и эксплуатации ВСМ с учетом зарубежного опыта и т.п.

При этом, учитывая отсутствие в Российской Федерации опыта проектирования, строительства и эксплуатации ВСМ, Стратегией развития железнодорожного транспорта рекомендовано принять в качестве основы нормативную базу стран — членов Европейского союза (Франции, Германии) и адаптировать ее для России.

В **разработке технических требований** для проектирования высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали (ТТ ВСМ) приняли участие ученые и специалисты ведущих научно-исследовательских, проектно-конструкторских и проектно-изыскательских институтов России: ОАО «Росжелдорпроект», ОАО «НИИАС», ОАО «ВНИИЖТ», ОАО «Ленгипротранс», ОАО «Мосгипротранс», ОАО «ЦНИИС», ГОУ ВПО «ПГУПС», ГОУ «МИИТ», ОАО «Гипростроймост», ОАО «Трансмост», ОАО «Гипротрансмост», ЗАО «Универсал-контактные сети», ООО «ВСМ-Инженеринг», ЦНИИ ГАиК и др.

В качестве **экспертов** были привлечены специалисты европейских компаний, имеющие опыт проектирования и строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей, в том числе: Deutsche Bahn AG, DB International GmbH, DB Systemtechnik, ALSTOM, Siemens, Европейской комиссии МСЖД, RailOne, MaxBögl, Европейского агентства железных дорог и др.

Технические требования к высокоскоростным железнодорожным магистралям (ВСМ) (разработанные в соответствии с решением НТС ОАО «РЖД» от 23 января 2008 г. с учетом проекта технического регламента «О безопасности инфраструктуры и подвижного состава высокоскоростного железнодорожного движения», директивы Евросоюза 96/48/ЕС «О совместимости трансевропейских высокоскоростных железных дорог» и стандартов Евросоюза CEN, CENELEC, ETSI содержат **основные технические параметры ВСМ** (см. табл. 1).

В целях разработки высокоточной координатной системы (ВКС) был **проведен анализ**:

- инфраструктуры пространственных данных (ИПД) железнодорожной магистрали;
- требований к координатному обеспечению ИПД;
- действующих технических требований «Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане», утвержденных МПС России 26 марта 1998 г.;

УЧЕНЫМИ И СПЕЦИАЛИСТАМИ ОАО «РОСЖЕЛДОРПРОЕКТ» И ОАО «НИИАС» С УЧАСТИЕМ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, В СООТВЕТСТВИИ С УКАЗАННЫМИ РЕШЕНИЯМИ:

- рассмотрен отечественный и зарубежный опыт проектирования и координатного обеспечения ВСМ с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- разработаны технические требования (нормативы) для проектирования высокоскоростной пассажирской железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург;
- разработаны концепция и техническое задание на ВКС, определены технический облик, состав и функции данной магистрали, этапы ее создания, опытной эксплуатации и сдачи в постоянную эксплуатацию.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ (ВСМ)	
Время хода между конечными пунктами без остановок	2,5 ч
Максимальная скорость движения пассажирских поездов	до 400 км/ч
Ширина колеи	1 520 мм
Максимальный продольный уклон	24 ‰
Непогашенное ускорение (по условиям комфортности)	0,48 м/с ²
Высота платформ	1 100 мм
Длина платформ	400 м
Весовая норма высокоскоростного поезда	1 000 т
Максимальная статическая нагрузка на ось моторного вагона высокоскоростного поезда	17 т (170 кН)
Максимальная динамическая нагрузка от колеса на рельс	16 т (160 кН)
Габарит подвижного состава	Т

- результатов выполнения отечественного НИОКР-19.73.00 «Пилотный проект по определению области применения спутниковых технологий на железнодорожном транспорте на опытном участке Москва — Клин»;
 - проекта GEORAIL (о переводе железных дорог стран ЕС на единую систему координат и международную систему стандартизации);
 - проекта GALILEO (о применении спутниковых технологий на железнодорожном транспорте);
 - проекта TMG — Track Machine Guidance (об управлении путевыми машинами с применением спутниковых координатных методов).
- (Последние три проекта были реализованы Международным союзом железных дорог — МСЖД.)

ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ (ВКС):

- создание единого координатно-временного пространства ВСМ, реализуемого с помощью дифференциальной глобальной навигационной спутниковой системы (ДГНСС);
- обеспечение координатно-временной информацией инженерных изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации магистрали;
- полевое трассирование ВСМ;
- координатное управление строительными машинами и механизмами с оценкой качества прокладки пути;
- мониторинг состояния земляного полотна, верхнего строения пути и искусственных сооружений;
- обеспечение безопасности железнодорожного движения.

СОСТАВ ВКС:

- ГНСС — глобальные навигационные спутниковые системы (функционально);
- ДГНСС — дифференциальная глобальная навигационная спутниковая система;
- геодезическая основа;
- СПД РЖД — канал фиксированной связи;
- ПРС — канал подвижной радиосвязи;
- МС — мобильные спутниковые станции (терминалы) в комплекте с радиомодемами;
- КИП — контрольно-измерительный полигон.

Таблица 2

Основные характеристики ГНСС — ГЛОНАСС, GPS и GALILEO			
Характеристики	ГЛОНАСС	GPS	GALILEO
Количество спутников на 03.02.2009 г. (проектное/фактическое)	24/18	24/30	30/1
Количество орбитальных плоскостей	3 (через 120°)	6 (через 60°)	3 (через 120°)
Проектное количество спутников в каждой орбитальной плоскости	8	4	10
Тип орбиты	круговая	круговая	круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 200	23 616
Наклонение орбиты, °	64,8	55,0	56,0
Период обращения космических аппаратов	11 ч 16 мин.	11 ч 58 мин.	14 ч 21 мин.
Вес космического аппарата, кг	1480 (ГЛОНАСС M1)	840 (Block II) 2 000 (IIR)	625
Система отсчета пространственных координат	ПЗ-90	WGS 84	WGS 84
Скорость передачи данных, бит/с	50	50	50

В результате всестороннего изучения указанных материалов был сделан вывод, что **ВКС следует строить в виде многофункциональной автоматизированной информационной системы** сбора, обработки и хранения информации и предоставления заинтересованным пользователям услуг по определению координат, скорости и времени определения местоположения стационарных и подвижных объектов железнодорожного транспорта:

- в режиме реального времени по кодовым и кодово-фазовым измерениям с метровой и субметровой точностью — ВКС (DGNSS);
- в режиме реального времени по фазовым измерениям с сантиметровой точностью — ВКС (Network RTK);

- в режиме постобработки по кодовым и фазовым измерениям с миллиметровой точностью — ВКС (POST).

По степени автоматизации ВКС относится к автоматизированной системе, позволяющей осуществлять все процедуры (от наблюдения ГНСС до предоставления пользователям координатной информации) в автоматизированном режиме. По оперативности предоставления координатной информации ВКС является автоматизированной системой, работающей в режиме реального времени. При этом для обеспечения безопасного железнодорожного движения ВКС должна отвечать установленным требованиям непрерывности и целостности координатной информации.

ПОГРЕШНОСТИ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТОЧНОСТИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС:

- несинхронность шкал времени спутниковых приемников;
- неточность определения орбит космических аппаратов;
- задержки радиосигнала в ионосфере и тропосфере;
- многоступенчатое, переотраженное распространение радиосигнала;
- вариации фазового центра антенны;
- конфигурация пространственной засечки, образующейся при определении координат объекта.

СОСТАВ ДГНСС В СОСТАВЕ ВКС:

- сеть РС — сеть постоянно действующих спутниковых референчных станций;
- сеть ВРС — сеть временных спутниковых референчных станций;
- СЦ — сетевой центр — программно-технический комплекс по сбору, обработке и хранению (архивированию) спутниковой и вспомогательной информации, поступающей с РС и ВРС, а также по доставке потребителям соответствующей информации.

Главные цели ВКС состоят в обеспечении безопасности высокоскоростного движения, повышении эффективности железнодорожных пассажирских перевозок и сокращении трудовых, материальных и временных затрат на инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию ВСМ.

Главными потребителями координатно-временной информации ВКС являются все основные департаменты ОАО «РЖД» и управляемые ими хозяйства.

Космический сегмент ВКС

В настоящее время в мире функционируют две глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС):

- российская — ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система), введенная в эксплуатацию в ограниченном составе в 1993 г.;
- американская — GPS (Global Positioning System), введенная в эксплуатацию в полном составе в 1993 г.

Параметры ГНСС, характеристики орбит космических аппаратов, требования к качеству и структуре навигационных сигналов и другие навигационные данные содержатся в интерфейсных контрольных документах, публикуемых на сайтах соответствующих ГНСС.

В связи с недостаточным финансированием орбитальная группировка ГЛОНАСС некоторое время функционировала в ограниченном составе, что не позволяло в полной мере решать задачи, стоящие перед системой. Однако в соответствии с Федеральной целевой программой «Глобальная навигационная система», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 20 августа 2001 г. № 587, орбитальная группировка ГЛОНАСС к настоящему времени доведена до 18 космических аппаратов, что обеспечивает 100%-ное покрытие территории Российской Федерации.

Наряду с ГЛОНАСС и GPS Европейским союзом (ЕС) и Европейским космическим агентством (ЕСА) начата работа по развертыванию европейской ГНСС — GALILEO. Основные характеристики трех ГНСС — ГЛОНАСС, GPS и GALILEO — приведены в табл. 2. В 2007 г. КНР тоже объявила о создании своей национальной ГНСС — COMPASS (ее характеристики пока не опубликованы). Создание национальных ГНСС также планируют Япония и Индия (QZSS и IRNSS соответственно).

Наличие нескольких ГНСС дает возможность создания гибридных двух- и

трехсистемных спутниковых приемников для приема и обработки сигналов действующих ГНСС — ГЛОНАСС и GPS (а в перспективе — GALILEO, COMPASS и др.). Как следует из табл. 2, на 03.02.2009 г. в космических сегментах ГЛОНАСС и GPS функционировали 48 космических аппаратов. После доведения их числа до проектного уровня и ввода в эксплуатацию GALILEO общее число космических аппаратов достигнет 84, что, безусловно, позволит значительно повысить надежность спутникового позиционирования, сократить время решения неоднозначности TTFA (Time To Fix Ambiguities) и в конечном итоге повысить точность спутниковых определений.

Одновременное использование двух-трех систем ГНСС особенно выгодно, когда сужается зона видимости (из-за высоких зданий и сооружений, насыпей и выемок вдоль железнодорожных путей, в лесных и горных районах и т.п.) и мобильный приемник может «видеть» большее число спутников, попавших в узкую зону.

Точность определения местоположения объекта в режиме непосредственной навигации составляет примерно 10–15 м, что удовлетворяет требованиям для решения определенного круга задач железнодорожной навигации, например контроля дислокации подвижного состава. Однако для решения основных задач, требующих высокой точности позиционирования (например, для координатно-временного обеспечения безопасности железнодорожного движения, интервального регулирования, строительства новых путей, оперативного мониторинга действующих железных дорог, контроля состояния и выправки рельсовой колеи), требуются более точные методы.

Наиболее эффективным средством повышения точности наблюдений является метод ДГНСС — DGPS (Differential GPS), позволяющий определять местоположение объектов в режиме реального времени с точностью от 1 м до нескольких мм. При этом железнодорожный транспорт требует использования всего спектра методов спутниковой навигации: от непосредственных спутниковых определений до дифференциальной коррекции с использованием локальных, региональных, широкозонных и глобальных дифференциальных систем.

Учитывая стратегическое значение железнодорожного транспорта, для координатно-временного обеспечения российских железных дорог следует

ФУНКЦИИ РС:

- непрерывный прием спутниковой информации («сырых данных»), поступающей от ГНСС;
- передача «сырых данных», собираемых с частотой 1 Гц, в сетевой центр по СПД РЖД;
- запись и архивация данных на случай отключения СПД РЖД;
- трансляция локальных поправок на случай отключения сетевого решения.

СОСТАВ РС

- Мультичастотный ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) приемник с опциями:
 - подключение коммуникационного устройства;
 - вывод меток точного времени (PPS);
 - подключение внешнего стандарта частоты;
 - подключение метеодатчика;
 - подключение двухосевых датчиков наклона антенны;
 - подключение основного и резервного источников питания.
- Мультичастотная ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) антенна с экраном типа Choke-Ring с соответствующим устройством крепления.
- Программное обеспечение для выполнения основных функций РС.
- Контроллер для настройки РС (опционально).
- Кондиционер.

прежде всего развивать локальные и региональные ДГНСС как неотъемлемую часть инфраструктуры железнодорожного транспорта. Региональные ДГНСС целесообразно создавать для высокоскоростных и скоростных железнодорожных магистралей (Москва — Санкт-Петербург, Москва — Нижний Новгород, Центр — Юг и др.). На других железнодорожных направлениях следует внедрять локальные ДГНСС, устанавливая на крупных железнодорожных станциях постоянно действующие **спутниковые референциальные станции (РС)** с пер-

спективой их дальнейшего объединения в сеть, т.е. доведения до конфигурации региональных ДГНСС.

Что касается широкозонных систем, то здесь следует ориентироваться на российскую систему СДКМ (срок ввода в эксплуатацию — 2013 г.). Иностранные же широкозонные системы целесообразно использовать в основном для реализации пилотных проектов (с целью отработки технологий применения подобных систем на российских железных дорогах). При этом одним из основных компонентов ДГНСС являются

СОСТАВ ВРС

- Мультичастотный ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) приемник с возможностью подключения:
 - коммуникационного устройства;
 - датчика точного времени (PPS);
 - внешнего стандарта частоты;
 - метеодатчика (опционально);
 - основного и резервного источников питания.
- Мультичастотная ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) антенна с экраном типа Choke-Ring и с быстроустанавливаемым штативом.
- Контроллер и программное обеспечение для выполнения основных функций ВРС.

ФУНКЦИИ СЦ

- Сбор спутниковой информации со всех РС и ВРС, связанных с СЦ с помощью СПД РЖД и ПРС.
- Вычисление дифференциальных поправок с частотой 1 Гц для предоставления услуг ВКС (DGNSS) и ВКС (Network RTK) в стандартных форматах и передача их по каналам ПРС на МС для определения точных координат, скорости и времени (момента) определения местоположения объекта железнодорожного транспорта. (Требования к каналам передачи данных представлены в табл. 3.)
- Вычисление координат объектов железнодорожного транспорта в режиме постобработки ВКС (POST).
- Архивирование спутниковой информации в целях дополнительной постобработки и дальнейшего анализа.
- Мониторинг сети РС и автоматическое управление сетью по аварийному плану и, если потребуется, вмешательство обслуживающего персонала.

Таблица 3

Требования к каналам передачи данных				
Услуги ВКС	Типы МС	Форматы данных	Частота спутниковых измерений МС	Время доставки пользователю дифпоправок
ВКС (DGNSS)	МС (DGNSS)	RTCM SC 104 v. 2.1/2.2/2.3/3.0/3.1	до 50 Гц	не более 10 с
ВКС (Network RTK)	МС (Network RTK)	Рекомендуется: RTCM SC 104 3.0/3.1 и NTRIP 1.0/2.0. Также должны поддерживаться все форматы для сетевых и однобазовых RTK-решений (FKP, VRS, iMAX, MAC, CMR, CMR+, CMR v.3), а также возможность работы в старых форматах (RTCM SC 104 v. 2.1/2.2/2.3)	Для стационарных объектов: 1 Гц Для подвижных объектов: до 50 Гц; Для спутниково-инерциальных комплексов: 100–500 Гц	не более 3 с

спутниковые референционные станции, которые размещаются вдоль действующей скоростной и проектируемой высокоскоростной железнодорожных магистралей Санкт-Петербург — Москва в виде системы треугольников со стороны 50–70 км. Всего планируется установить 34 таких РС.

После запуска системы предусматривается круглосуточная передача спутниковой информации с каждой РС по всем ГНСС одновременно (с частотой 1 Гц и скоростью не менее 9,6 кбит/с). В случае прекращения связи с сетевым центром (СЦ) «сырые данные» будут накапливаться во внутренней памяти РС и автоматически передаваться в СЦ после восстановления прерванной связи.

Спутниковые антенны РС будут устанавливаться на зданиях домов

связи Октябрьской и Московской железных дорог при условии обеспечения высокой стабильности положения антенны. Препятствия на пунктах размещения не должны мешать приему наблюдаемых спутников; при этом маска возвышения должна быть не более 5°.

Предусматривается индивидуальная калибровка всех спутниковых антенн РС с уточнением вариаций фазового центра в зависимости от направления на спутник (азимута — от 0 до 360°) и угла восхождения спутника (от 0 до 90°) по каждой из частот, задействованных в спутниковом приемнике. В целях точного учета влияния климатических условий на РС устанавливаются метеодатчики, регистрирующие температуру, влажность и атмо-

сферное давление. Указанные данные включаются в специальный RINEX-файл и используются при постобработке. Для учета давления, ветра и других деформирующих факторов на антенну РС опционально устанавливается датчик наклона, фиксирующий наклон антенны по двум плоскостям. Эти данные используются для целей мониторинга целостности ВКС.

Временные спутниковые референционные станции (ВРС) используют в основном для проведения работ по контролю геометрических параметров и выправке пути. При этом одну или несколько ВРС устанавливают на участке контроля и выправки пути на опорных геодезических пунктах, заблаговременно определенных в составе ОГС. Среднее расстояние между соседними опорными геодезическими пунктами составляет 500 м. Мобильную станцию (МС) спутниковой связи устанавливают на путеизмерительную тележку или путевую машину. Спутниковые измерения («сырые данные»), поступающие на ВРС от ГНСС, передаются в СЦ и используются для вычисления дифференциальных поправок (вместе с «сырыми данными», поступающими от сети РС). Вычисленные дифференциальные поправки и «сырые данные» от ВРС передаются на МС, где вычисляются уточненные дифференциальные поправки. Такая технология, получившая название технологии MAC (Master-Auxiliary Station Concept), обеспечивает субсантиметровую точность в режиме реального времени.

Состав программно-технических средств СЦ рассчитывается исходя из использования в ВКС 34-х РС и 250-ти МС, необходимых для координатно-временного обеспечения стационарных и подвижных объектов ВСМ.

Архивирование измерений осуществляется в формате RINEX 3.0 с поддержкой всех новых ГНСС-сигналов (GPS частота L5, GPS код L2C, GALILEO). Для универсальности и совместимости со старыми программными пакетами рекомендуется ограниченное время дублировать архивацию данных в формате RINEX 2.11.

Кроме того, для обеспечения бесперебойной работы ВКС в режиме реального времени и для надежной сохранности данных в режиме постобработки предусматривается создание резервного СЦ, дублирующего функции основного. Рекомендуемое место размещения основного СЦ — Московский вокзал (г. Санкт-Петербург).

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВКС:

- пункты государственной геодезической сети (ГГС);
- пункты государственной нивелирной сети (ГНС);
- пункты опорной геодезической сети (ОГС).

СОСТАВ И ФУНКЦИИ ОГС

- Каркасные пункты, опирающиеся на пункты ГГС и ГНС и совмещенные с постоянно действующими спутниковыми референционными станциями. Общее количество каркасных пунктов — 34. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения каркасных пунктов не должна превышать ± 2 мм в плане и ± 4 мм по высоте.
- Опорные геодезические пункты, опирающиеся на каркасные пункты и используемые в качестве временных спутниковых референционных станций, размещаются в полосе отвода железной дороги в среднем через каждые 500 м с одной или с другой стороны пути. Общее количество опорных геодезических пунктов — 1320. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения соседних опорных геодезических пунктов не должна превышать ± 8 мм в плане и ± 5 мм по высоте.

Надо отметить, что рабочие реперы, предусмотренные техническими требованиями «Специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в профиле и плане», утвержденными МПС России 26 марта 1998 г., в составе ОГС не предусматриваются.

Координаты четырех систем

Эффективность применения спутниковых навигационных систем ГЛО-НАСС/GPS во многом определяется выбранными **системами координат**, позволяющими обрабатывать все виды измерений в рамках единого координатно-временного пространства.

Сточки зрения обеспечения применения спутниковых технологий в ОАО «РЖД», наиболее целесообразным представляется использование единой системы координат в виде взаимосвязанной совокупности из 4-х систем координат (см. рис. 2): (1) государственной геоцентрической ПЗ-90, (2) государственной геодезической СК-95, (3) местной кадастровой, (4) линейной железнодорожной.

Надежная связь между перечисленными системами координат обеспечивается с использованием параметров перехода (ключей).

Геоцентрическая система наиболее удобна для описания цифровой мо-

ДОМА СВЯЗИ, ГДЕ РС ПОДКЛЮЧАЮТСЯ К СПД РЖД (см. рис. 1):

- на станциях действующей скоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва: Московский вокзал (Санкт-Петербург), Тосно, Чудово-Московское, Малая Вишера, Торбино, Окуловка, Бологое-Московское, Вышний Волочек, Спирово, Лихославль, Тверь, Решетниково, Подсолнечная, Ленинградский вокзал (Москва);
- на станциях соседних железнодорожных направлений Октябрьской железной дороги: Мга, Гатчина, Новинка, Новгород-на-Волхове, Крестцы, Валдай, Фирово, Торжок, Высокое;
- на станциях Московской железной дороги: Волоколамск, Ново-Иерусалимская, Манихино-1, Дмитров;
- пункты доступа на проектируемой линии СПД на ВСМ Санкт-Петербург — Москва (ориентировочно 7 пунктов);

дели пути (ЦМП). Во-первых, текущее положение подвижного состава, оснащенного спутниковым навигационным приемником, определяется в геоцентрической системе координат, поэтому можно без каких-либо дополнительных преобразований отображать положение движущегося поезда на ЦМП (либо в кабине машиниста, либо в диспетчерском центре). Во-вторых, отсутствуют

режимные ограничения на использование геоцентрических координат подвижного состава.

В качестве **местной железнодорожной системы координат** предлагается использование **местных кадастровых систем координат**, установленных в границах субъектов Российской Федерации для ведения государственного кадастра недвижимости

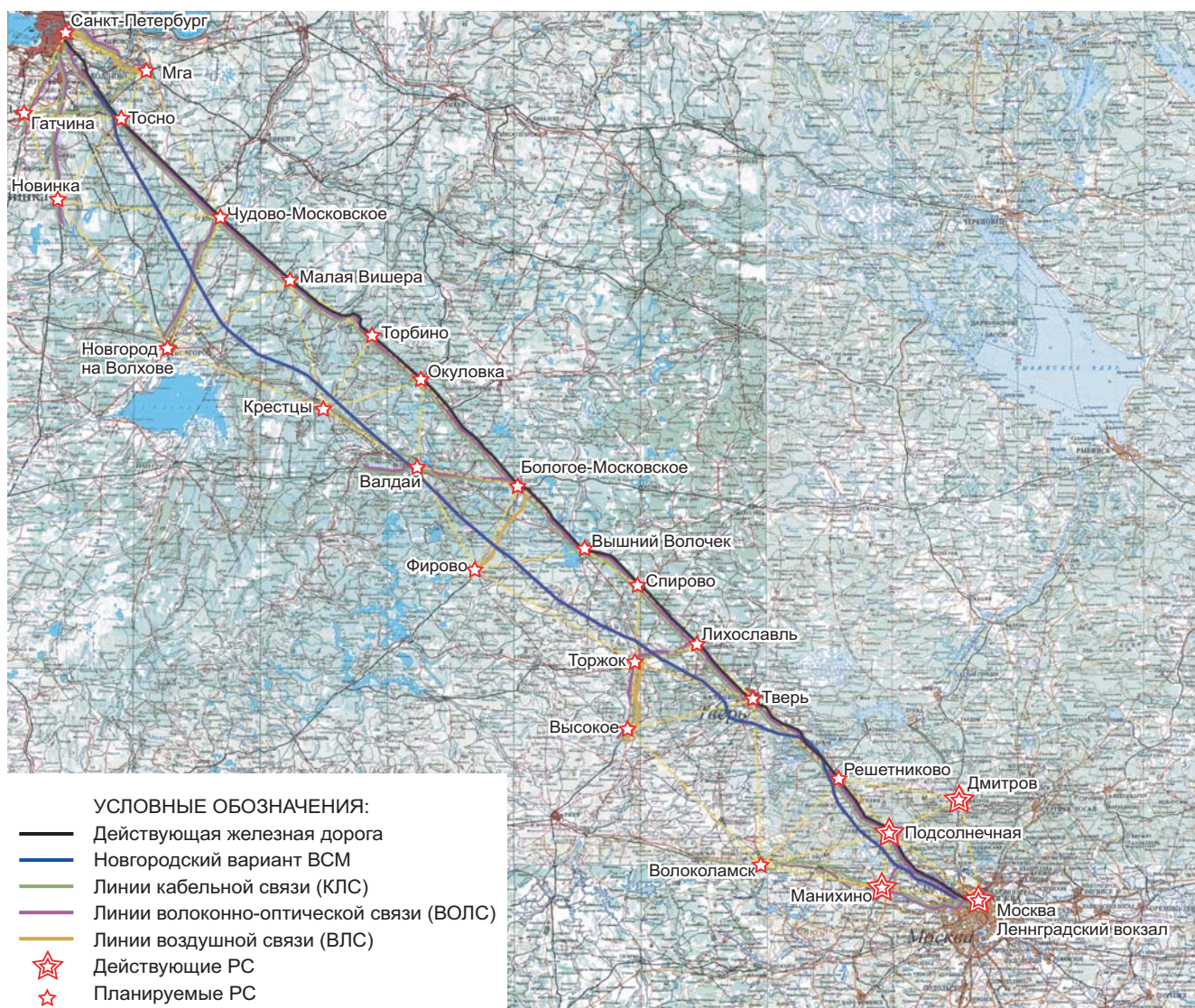


Рис. 1. Станции, линии связи и РС действующей скоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Москва, соседних направлений Октябрьской железной дороги и Московской железной дороги

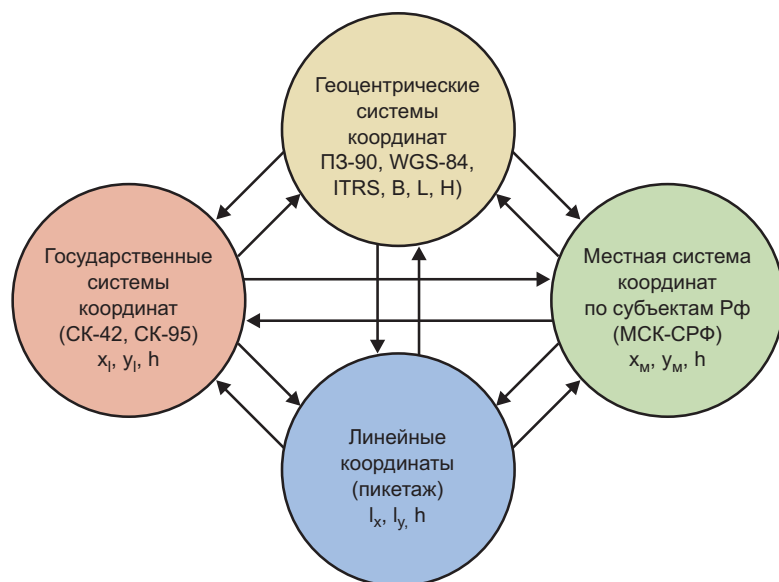


Рис. 2. Устройство единой системы координат для применения спутниковых технологий в ОАО «РЖД»

СОСТАВ МС (DGNS)

- Мультичастотные ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) кодовые и кодово-фазовые приемники, имеющие:
 - дискретность записи и выдачи данных до 50 Гц;
 - подключение модема для приема дифференциальных поправок DGNS;
 - вход меток внешних событий (Event Mark);
 - вывод меток точного времени (PPS);
 - подключение основного и резервного источников питания;
 - декодер сигналов региональных широкозонных сервисов EGNOS и OmniStar (опционально);
 - подключение блоков инерциальных измерений (опционально).
- Мультичастотная компактная ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) антенна.
- Контроллер и программное обеспечение для выполнения основных функций МС.

СОСТАВ МС (NETWORK RTK)

- Мультичастотные ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) фазовые приемники геодезического класса, имеющие:
 - дискретность записи и выдачи данных до 50 Гц;
 - подключение модема для приема сетевых и локальных RTK-поправок Network RTK;
 - вход меток внешних событий (Event Mark);
 - вывод меток точного времени (PPS);
 - подключение основного и резервного источников питания;
 - декодер сигналов региональных широкозонных сервисов EGNOS и OmniStar (опционально);
 - подключение блоков инерциальных измерений (опционально).
- Мультичастотная компактная ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) антенна геодезического класса.
- Контроллер и программное обеспечение для выполнения основных функций МС.

СОСТАВ МС (POST)

- Мультичастотные ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) кодовые, кодово-фазовые и фазовые приемники, имеющие:
 - дискретность записи и выдачи данных до 50 Гц;
 - вход меток внешних событий (Event Mark);
 - вывод меток точного времени (PPS);
 - подключение основного и резервного источников питания;
 - подключение блоков инерциальных измерений (опционально).
- Мультичастотная компактная ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/(COMPASS) антенна.
- Контроллер для записи и хранения результатов полевых измерений.
- Специализированный программно-аппаратный комплекс для накопления и обработки больших массивов информации.

в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2007 г. № 139 «Об утверждении Правил установления местных систем координат». Такой подход наиболее целесообразен как с позиции однозначного установления прав собственности на земельные участки и объекты недвижимости ОАО «РЖД», так и с позиции соблюдения режима их использования, поскольку сведения о координатах геодезических пунктов в местных системах координат на территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации, отнесены к несекретным. Таким образом, при переходе на местные кадастровые системы отпадает необходимость создания местных железнодорожных систем координат и экономятся значительные средства, необходимые на их разработку.

В качестве *линейной железнодорожной системы координат* предлагается использовать пикетаж, получаемый с использованием ЦМП. В качестве абсциссы линейной системы принимается длина осевой линии первого главного пути, отсчитываемая от нулевого километра пути. Ордината линейной системы вычисляется как отрезок перпендикуляра, восстановленного от объекта ЦМП до касательной к оси первого главного пути. Преимуществами предлагаемой линейной системы координат является то, что, во-первых, отпадает необходимость разработки сложных азимутальных проекций, предлагаемых некоторыми авторами для вычисления линейных координат объектов пути, а во-вторых, они являются производными от геоцентрических координат, что обеспечивает их строгое прямое и обратное преобразование.

Для работ по контролю и выправке пути рекомендуется применять технологию Master-Auxiliary Station Concept (MAC) с использованием в качестве базовой станции ВРС, устанавливаемой на близлежащем опорном геодезическом пункте. При этом сетевая задача по вычислению дифференциальных поправок решается непосредственно в мобильной станции спутниковой связи, установленной на путеизмерительном средстве, что позволяет обеспечить точность, необходимую для контроля и постановки пути в расчетное (проектное) положение в режиме реального времени.

При выборе мест размещения опорных геодезических пунктов должны быть обеспечены: долговременная сохранность и стабильность

положения пунктов с заглублением центров пунктов в грунт на глубину ниже уровня промерзания; удобство доступа (подъезда и подхода) к пунктам; возможность работы путевых машин и оборудования без помех.

Коммуникационный сегмент ВКС включает:

- 1) СПД РЖД — канал фиксированной связи, используется как транспортная среда для доставки спутниковой информации («сырых данных») из РС в СЦ, имеет выделенный канал для круглосуточной бесперебойной передачи спутниковой информации с частотой 1 Гц по всем ГНСС со скоростью 9,6 Кбит/с;
- 2) ПРС — канал подвижной радиосвязи, предназначен для доставки дифференциальных поправок из СЦ на МС, устанавливаемых на стационарных и подвижных объектах железнодорожного транспорта. (При разработке технического проекта в качестве ПРС будут рассмотрены системы подвижной радиосвязи стандартов GSM-R, TETRA, GSM, УКВ, Inmarsat, Globalstar и др. В инфраструктуре ВСМ предусмотрено строительство ПРС стандарта GSM-R. Поскольку ВКС должна функционировать уже на стадии проектирования и строительства ВСМ, изначально следует использовать одну из действующих ПРС, а на этапе эксплуатации ВСМ — осуществить переход на стандарт GSM-R.)

Для определения координат, скорости и момента (времени) определения местоположения объектов железнодорожного транспорта рекомендуются три типа мобильных станций и устройств:

- МС (DGNS) — приемники (терминалы), предназначенные для определения местоположения объектов с использованием дифференциальных поправок в режиме реального времени по кодовым и кодово-фазовым измерениям с метровой точностью;
- МС (Network RTK) — приемники (терминалы), предназначенные для определения местоположения стационарных объектов и подвижного состава (скоростных путеизмерительных и диагностических вагонов) с использованием сетевых и локальных RTK-поправок в режиме реального времени с сантиметровой и субсантиметровой точностью;
- МС (POST) — приемники (терминалы), предназначенные для определе-

ния местоположения стационарных и подвижных объектов железнодорожного транспорта в режиме постобработки по кодовым и фазовым измерениям с миллиметровой точностью.

Сообщения в реальном времени о текущих координатах, скорости, времени и дополнительная информация направляются с МС в СЦ в формате NMEA-0183.

КИП рекомендуется создать на ст. Решетниково, где имеется производственная база ПМС-1 и благоприятные условия для спутниковых наблюдений.

В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)», утвержденной постановлением Пра-

вительства Российской Федерации от 20 мая 2008 г. № 377, проектирование высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург должно быть завершено в 2010 г. По итогам проектных работ будет разработан механизм реализации данного проекта, основанный на принципах государственно-частного партнерства.

Финансирование работ по созданию ВКС (как составная часть проектно-исследовательских работ) предусматривается за счет средств федерального бюджета и средств ОАО «РЖД», полученных за счет введения инвестиционной составляющей в тарифы на грузовые железнодорожные перевозки.

ФУНКЦИИ КИП

- Контроль и оценка результатов спутникового позиционирования, предоставляемого пользователям ВКС, путем сравнения полученных результатов с данными наземных геодезических измерений с применением высокоточных электронных тахеометров и цифровых нивелиров.
- Периодическая поверка работоспособности ВКС, ее частей и МС-пользователей.

СОСТАВ КИП

- Сеть геодезических пунктов (точек), плано-высотное положение которых определено геодезическими методами со средней квадратической погрешностью ± 5 мм/км.
- Цифровой топографический план железнодорожной станции масштаба 1:500.
- Цифровая модель пути (ЦМП) в пределах одного блок-участка.
- Контрольно-измерительное оборудование:
 - МС (DGNS) — 2 комплекта,
 - МС (Network RTK) — 3 комплекта,
 - МС (POST) — 2 комплекта,
 - высокоточный электронный тахеометр — 1 комплект,
 - цифровой нивелир — 1 комплект,
 - лазерный сканер — 1 комплект,
 - лазерные рулетки — 2 шт.

ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДУСМАТРИВАЕТСЯ:

- годовая доступность и целостность ВКС с вероятностью 0,999;
- дублирование функций СЦ, включая функции мониторинга сети РС;
- постоянный прием и проверка данных, поступающих в ВКС (DGNS), ВКС (Network RTK) и ВКС (POST);
- автоматическое управление ВКС (в случае сбоев должны быть приведены в действие корректирующие меры, включая автоматическое оповещение обслуживающего персонала);
- регистрация и анализ всех смещений антенн РС;
- кодирование и декодирование передаваемых данных, а также другие меры по защите информации от несанкционированного доступа и сохранности данных при авариях и отказе технических средств;
- защита ВКС от внешних воздействий (наводнений, ударов молнии и т.д.).

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВСМ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ — МОСКВА:

- техническое задание и технический проект — 2008–2009 гг.;
- рабочая документация, закупка оборудования и программно-технических средств, программы и методики испытаний, создание КИП — 2009 г.;
- монтажные и пусконаладочные работы — 2009–2010 гг.;
- предварительные испытания, подготовка обслуживающего персонала — 2010 г.;
- опытная эксплуатация — 2010–2011 гг.;
- сдача в постоянную эксплуатацию — 2011 г.