

УДК 69

DOI 10.21661/r-113467

*В.А. Елисеев*

## НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация:** рассмотрены назначение и задачи спутникового мониторинга железнодорожного транспорта, раскрыты направления глобального развития: спутниковых систем навигации США, РФ, ЕС и КНР – космического и пользовательского сегментов; наземных телекоммуникационных средств спутниковых систем – управляющих сегментов GPS, ГЛОНАСС, Галилео и Бэйдоу; отечественных разработок спутниковых технологий. Учитывая технико-экономические и социально-гуманитарные перспективы, а также геополитический характер спутникового мониторинга, рекомендуется, во-первых, существенно расширить номенклатуру пользовательского оборудования ГЛОНАСС, повысить его технический уровень и качество, а во-вторых, при выборе спутниковой группировки оказывать поддержку отечественным технологическим разработкам.

**Ключевые слова:** спутниковый мониторинг, железнодорожный транспорт, телекоммуникации, технологии, направления развития.

*V.A. Eliseev*

## DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SATELLITE MONITORING OF RAILWAY TRANSPORT

**Abstract:** the article reviews the purpose and tasks of satellite monitoring of railway transport, reveals the development of global satellite navigation systems of the US, Russia, EU and China – space and user segments; of ground telecommunications satellite systems – control segments of GPS, GLONASS, Galileo and Beidou; domestic developments in satellite technology. Considering techno-economic and socio-humanitarian perspective, as well as the geopolitical nature of satellite monitoring, it is recommended, firstly, to expand significantly the range of user's equipment GLONASS, to

*improve its technical level and quality, and secondly, while choosing the satellite constellation to support domestic technological development.*

**Keywords:** *satellite monitoring, rail transportation, telecommunications, technology, trends.*

*Введение. Назначение и задачи спутникового мониторинга  
железнодорожного транспорта*

Спутниковый мониторинг – прикладное применение глобальной оперативной навигации. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижный объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителя, может в любом месте приземного пространства и в любой момент времени определить/уточнить параметры своего движения – 3 координаты и 3 составляющие вектора скорости. Принцип работы спутникового мониторинга транспорта заключается в отслеживании и анализе своих пространственных и временных координат. Известно 2 варианта мониторинга: «online» (с дистанционной передачей координатной информации) и «offline» (информация считывается по прибытию на диспетчерский пункт). На транспортном средстве устанавливается мобильный модуль, состоящий из приёмника спутниковых сигналов, модуля хранения координатных данных и модуля передачи этих данных. Программное обеспечение мобильного модуля получает координатные данные от приемника сигналов, записывает их в модуль хранения и передаёт через модуль передачи (вариант «online»), использующего беспроводные сети операторов связи; полученные данные анализируются и выдаются диспетчеру в текстовом виде или с использованием картографической информации. В варианте «offline» необходимость дистанционной передачи отсутствует, что позволяет отказаться от услуг операторов, используя недорогие мобильные модули. Мобильный модуль проектируется на основе приемников, работающих в стандартах систем США, РФ, ЕС и КНР. Индийская и японская спутниковые системы не рассматриваются как альтернативные, поскольку являются региональными без заявленных перспектив стать глобальными.

В РФ продвигается использование спутников ГЛОНАСС, разработка и производство ее пользовательского оборудования; приняты законодательные акты, форсирующие ее внедрение и ограничивающие применение других. ГЛОНАСС уступает GPS по технико-экономическим параметрам, чем объясняется сложность внедрения ГЛОНАСС-мониторинга и вынужденное его использование госпредприятиями РФ, поэтому обоснованно рыночное ожидание появления оборудования, использующего оба стандарта или выбор спутниковой группировки в процессе эксплуатации [1].

Требования к точности определения координат объектов железной дороги можно разделить на 3 класса, соответствующих принятым в ЕС нормативам:

- 1) мониторинг дислокации и параметров движения подвижных средств с точностью до 10–15 м;
- 2) управление и обеспечение безопасности движения поездов с необходимой точностью до 1 м;
- 3) контроль состояния инфраструктуры пути, а также инженерные изыскания с миллиметровой точностью позиционирования.

Внедрению спутникового мониторинга нет альтернатив: только он обеспечит железным дорогам пространственный охват и оперативное представление информации, необходимой для принятия соответствующих управленческих решений. Отечественные исследования и разработки, практика применения и анализ зарубежного опыта выявляют 4 основных задачи мониторинга, способствующие обеспечению безопасности перевозок:

- 1) контроль соблюдения графика движения (местонахождения и маршрута);
- 2) учет расхода топлива;
- 3) температурный контроль в пути следования;
- 4) контроль показаний датчиков разного назначения.

Цель статьи – раскрыть направления глобального развития, во-первых, космического и пользовательского сегментов спутниковых систем США, РФ, ЕС и КНР, во-вторых, их наземных телекоммуникационных средств – управляющих

сегментов GPS, ГЛОНАСС, Галилео и Бэйдоу, а в-третьих, отечественных разработок спутниковых технологий для железнодорожного транспорта.

*Спутниковые системы навигации США, РФ, ЕС и КНР – космический и пользовательский сегменты.*

*Спутниковая система навигации США.* Transit [известная как NAVSAT – Navy Navigation Satellite (System) – система ВМС США] -первая в мире, которая сейчас используется для проведения исследований ионосферы. NAVSTAR GPS или просто GPS (NAVigation Satellites providing Time And Range – спутники США, обеспечивающие измерение времени и расстояния; Global Positioning System – глобальная система позиционирования) обеспечивает измерение расстояния, времени, определение местоположения и скорости объектов в датуме WGS 84 в любом месте Земли (исключая приполярные области), почти при любой погоде, а также в околоземном космическом пространстве; доступна для гражданского применения с [2] (при зависимости в получении сигнала от эксплуатирующего систему МО США).

GPS состоит из 3-х сегментов: космического (спутники), а также управляющего (наземный сегмент) и пользовательского (приемники для транспорта и персональные). Спутники транслируют сигнал, а GPS-приемники используют его для определения положения в пространстве по 3-м координатам в режиме «online». Космический сегмент GPS образуется орбитальной группировкой, номинально состоящей из 24 основных и резервных космических аппаратов, которые обеспечивают работоспособность системы в любой точке земного шара, но не всегда – уверенный прием; поэтому для увеличения точности позиционирования и резерва на случай сбоя количество спутников на орбите поддерживается в бóльшем количестве. По 4 спутника размещаются на 6 круговых орбитах высотой около 20200 км с общим периодом обращения 2 витка за звездные сутки; спутники излучают сигналы 1575,42 МГц и 1227,60 МГц, а новые модели – 1176,45 МГц. Высота орбиты обеспечивает стабильность движения спутников и уменьшение влияния сопротивления атмосферы. Аппараты GPS подлежат замене на новую версию GPS IIF, которая имеет преимущества по устойчивости к

помехам и обеспечивает бóльшую точность определения координат: погрешность  $\leq 0,6\text{--}0,9$  м. Предусматривался запуск 33 спутников GPS IIF, но из-за технических проблем запуски перенесены, а количество спутников уменьшено до 12. Повышенная точность спутников GPS IIF стала возможной благодаря использованию атомных часов, хотя невысокое наклонение орбит снижает точность в приполярных районах Земли.

Пользовательский сегмент представлен приемниками, находящимися в ведении государственных организаций и сотен миллионов частных владельцев (в т. ч. они используются для определения местонахождения человека). GPS-приемник – радиоприемное устройство для определения географических координат текущего местоположения антенны приемника на основе данных о временных задержках прихода излучаемых радиосигналов. Т. к. спутники вещают на разных частотах, то для повышения точности оборудование определяет координаты с помощью доступных каналов видимых спутников. Точность GPS существенно зависит от открытости пространства и от высоты спутников над горизонтом (6–8 м при использовании алгоритмов коррекции). Имеются станции, передающие поправки для дифференциального режима, которые снижают погрешность до 1–2 м, а при применении сложных режимов она – не менее 10 см. GPS-приемники продаются в магазинах, встраиваются в мобильные телефоны, смартфоны, наручные электронные часы, карманные компьютеры и онбордеры., потребителям предлагаются устройства и программные продукты, позволяющие дистанционно отслеживать местоположение (трекер), видеть на электронной карте (навигатор) и прокладывать маршруты, искать на карте конкретные дома и улицы, объекты инфраструктуры; но с государственной точки зрения важнее их применения в мониторинге транспорта и транспортной навигации, в гражданской и военной картографии, геотегинге, геодезии и тектонике.

Недостатком любой радионавигационной системы является то, что сигнал не всегда может доходить до приемника, приходиться с искажениями и/или с задержками. Т. к. рабочая частота GPS находится в дециметровом диапазоне волн, качество приема сигнала от спутников может заметно снизиться из-за большой

облачности, плотной листвы деревьев, помех от магнитных бурь, наземных радиоисточников и от создаваемых «глушилками» (антитрекерами, подавителями) [2–4].

*Спутниковая система навигации РФ.* ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система – ГЛОНАСС (GLONASS) – разработанная по заказу Министерства обороны система СССР-РФ. После США – это 2-я функционирующая система (китайская Бэйдоу – региональная, а европейская Галилео – в стадии разработки и испытаний), предназначенная для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного (в т. ч. железнодорожного) и других видов базирования. Доступ к гражданским сигналам в любой точке земного шара предоставляется потребителям на безвозмездной основе и без ограничений. На оперативное определение местонахождения человека направлен проект «Эра-ГЛОНАСС».

Основа системы – 24 спутника (для обеспечения глобального покрытия, хотя для территории РФ достаточно 18), движущихся над поверхностью Земли в 3-х орбитальных плоскостях с наклоном плоскостей  $64,8^\circ$ , высотой орбит 19400 км и периодом 11 ч. 15 мин. Орбита оптимальна для использования в высоких широтах (северных и южных полярных регионах), где сигнал GPS слаб. В 2010 г. количество спутников ГЛОНАСС было доведено до 26 – группировка была развернута для полного покрытия Земли. Принцип действия аналогичен GPS, а основное отличие в том, что спутники ГЛОНАСС в орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли – это обеспечивает им бóльшую стабильность. Таким образом, группировка космических аппаратов ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение срока активного существования, но срок службы спутников ГЛОНАСС короче [3–5].

Аналогично GPS отечественная ГЛОНАСС включает в себя 3 сегмента: космический сегмент с орбитальной группировкой, сегмент управления – наземный комплекс, и пользовательский сегмент – аппаратура пользователей (приемники всех видов транспорта и персональные). Орбитальная структура спутников построена таким образом, что в каждой точке земной поверхности и околоземного

пространства одновременно наблюдаются  $\geq 4$ -х спутников. Их взаимное расположение определяет необходимые точностные характеристики системы, а непрерывность навигационного поля обеспечивается на высотах до 2000 км. Спутники в орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что снижает возмущающее влияние нецентральности ее гравитационного поля на орбиты спутников. С развитием системы расширяется производство ГЛОНАСС-приемников [3–5].

*Спутниковая система навигации ЕС. Галилео (Galileo)* предназначена для решения навигационных и геодезических задач. Производители ГНСС-оборудования (ГНСС – глобальные навигационные спутниковые системы) интегрируют в приемники и антенны сигналы со спутников Галилео – этому способствует договоренность с США о совместимости и взаимодополнении с GPS. Галилео войдет в строй, когда на орбиту выведутся 30 спутников (27 операционных и 3 резервных) [6]. В 2008 г. парламент ЕС принял резолюцию «Значение космоса для безопасности Европы», допускающую использование спутниковых сигналов для операций в рамках политики безопасности. Спутники выводятся на орбиту высотой 23222 км и обращаются в 3-х наклоненных к экватору плоскостях так, что обеспечивают одновременную видимость из любой точки земного шара минимум 4-х аппаратов. Временная погрешность установленных атомных часов составляет одну миллиардную долю секунды, что дает точность определения места приемника около 30 см на низких широтах. За счет более высокой орбиты (по сравнению со спутниками GPS) на широте Полярного круга точность – до 1 м. Всемирная сеть станций Galileo будет контролироваться Центром управления с внесением поправок по уточнению координат через  $\leq 100$  мин.

1-й этап (фаза) проекта состоял в планировании и определении задач, 2-й – в запуске 2-х опытных спутников и развитии инфраструктуры (наземных станций), 3-й – в выводе на орбиты 4-х спутников. С каждым выводом спутников точность позиционирования повышается. В 2013 г. в тестовой фазе проекта (определение долготы, широты и высоты над уровнем моря) достигнута точность навигации 10–15 м, но из-за сложности позиционирования спутников возможна

2–3 ч./день. 4-й этап начался в 2014 г. До т. г. на орбиту выведены еще 14 спутников, запуск остальных ожидается к 2020 г. После завершения развертывания группировки спутники обеспечат в любой точке планеты, включая ее полюса, 90%-ю вероятность одновременного приема сигнала от 4-х спутников. Благодаря доступу к точному сигналу в 2-х частотных диапазонах, пользователи получат информацию о местоположении с точностью 4 м в горизонтальной плоскости и 8 м – в вертикальной при доверительном интервале 0,95. Применение дополнения EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service – Европейская геостационарная служба навигационного покрытия, предназначенная для улучшения работы GPS, ГЛОНАСС и Galileo на территории Европы) повысит точность до 1 м, а в спецрежимах – до 10 см. Для максимальной синхронизации спутники оснащены атомными часами с ошибкой  $\leq 1$  с за 3 млн. лет, что соответствует навигационной точности  $\leq 30$  см при приеме сигнала от 8–10 спутников [6].

*Спутниковая система навигации КНР* [7]. Бэйдоу – «Северный ковш» (китайское название созвездия Большой медведицы). Космический сегмент Бэйдоу будет состоять из 5-ти спутников на геостационарной орбите, 3-х – на геосинхронной и 27 – на средней околоземной (~ 21500 км). Система запущена в эксплуатацию в 2012 г. как региональная система позиционирования с группировкой в 16 спутников. Планируется, что на полную мощность Бэйдоу выйдет к 2020 г., но предстоит урегулировать вопросы, касающиеся частотных диапазонов с РФ, США, и ЕС.

Национальное космическое управление КНР развертывает Бэйдоу в 3 этапа: в 2000–2003 гг. – экспериментальная система из 3-х спутников, в 2012 г. – региональная (для покрытия территории КНР и прилегающих к ней), а к 2020 г. – глобальная. В рамках «Бэйдоу-3» планируется развертывание 35 космических аппаратов (по другим источникам – 36 или 37), в числе которых 5 спутников на геостационарной орбите, 3 – на наклонной геосинхронной, 27 – на средней околоземной, несколько дополнительных спутников могут составить орбитальный



резерв. 5 геостационарных спутников (Beidou-3G) будут располагаться на орбитальных 5-ти позициях в.д. с запуском после окончания срока службы аппаратов 2-го поколения. После завершения вывода ракетами-носителями КНР «Великий поход» спутники разместятся на 3-х орбитальных плоскостях по 9 аппаратов в каждой. В 2015 г. запущены первые 4 спутника нового поколения: 2 – на среднюю околоземную орбиту и 2 – на наклонную геосинхронную.

*Наземные телекоммуникационные средства спутниковых систем – управляющие сегменты GPS, ГЛОНАСС, Галилео и Бэйдоу.*

Наземный сегмент спутниковой системы – станции управления (контроля, слежения), а средства телекоммуникации – это совокупность технических, программных и организационных средств для передачи данных на большие расстояния.

Перспективными направлениями телекоммуникационных технологий считаются [8]:

- 1) создание сигнально-кодовых конструкций путем применения комбинированных методов манипуляции и новых методов кодирования сигнала (для увеличения пропускной способности систем передачи и улучшения их энергетики);
- 2) создание интеллектуальных антенных устройств с улучшенной энергетикой;
- 3) создание систем в миллиметровом диапазоне волн с рабочей частотой ~ 100 ГГц;
- 4) разработка методов проектирования и технологии производства оборудования, обеспечивающих оптимальные характеристики по обобщённым критериям (минимальные стоимость и массогабаритные характеристики, максимальные параметры и надёжность).

В США слежение за орбитальной группировкой GPS осуществляется главной станцией, расположенной на авиабазе ВВС «Schriever» в Колорадо. Управляющий сегмент – совокупность главной станции, нескольких дополнительных, наземных антенн и станций мониторинга.

В результате модернизации системы наземного комплекса управления РФ точность ГЛОНАСС достигла ~ 2,8 м для гражданских потребителей. Радионавигационное поле наземного сегмента наряду с основной функцией позволяет проводить [3–5]:

1) локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов на основе дифференциальных методов с применением космических аппаратов и стационарных наземных корректирующих станций;

2) высокоточную взаимную «привязку» удаленных наземных объектов;

3) взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах;

4) неоперативную автономную навигацию низко- и среднеорбитальных космических объектов;

5) определение ориентации объекта на основе радиоинтерферометрических измерений с помощью навигационных радиосигналов, принимаемых разнесенными антеннами. Для определения координат приемник принимает сигнал как минимум от 4-х спутников и вычисляет расстояния до них. При использовании 3-х спутников определение координат затруднено из-за ошибок, вызванных неточностью часов приемника. Защищенный сигнал повышенной точности предназначен для авторизованных пользователей (таких, как МО РФ). В 2014 г. начались работы над обеспечением совместимости ГЛОНАСС и Бэйдоу.

В ЕС для систематического сбора данных измерений Европейским космическим агентством была создана Всемирная сеть наземных станций слежения. Действует наземный сегмент системы навигации Галилео: 3 центра управления, 5 станций контроля за спутниковой группировкой, 30 контрольных приемных станций, 9 аплинковых станций для актуализации излучаемых сигналов. Предполагается, что наземный сегмент будет включать 18 сенсорных станций, 2 блока телеметрии, трекинга и команд. Т. е. космический сегмент Галилео будет обслуживаться наземной инфраструктурой, включающей не только центры управления, но и глобальную сеть передающих и принимающих станций. Способность

Галилео напрямую информировать пользователей об уровне целостности сигнала – существенное отличие от других систем спутниковой навигации [6]. Благодаря доступу к сигналу в 2-х частотных диапазонах, пользователи Галилео получают информацию о местоположении с точностью 4 м в горизонтальной плоскости и 8 м – в вертикальной при доверительном интервале 0,95.

В КНР станции слежения наземного сегмента Бэйдоу оборудованы 2-частотными приемниками и антеннами, принимающими сигналы GPS и Compass (спутники группировки «Бэйдоу-2», настроенные для ее частот). 7 размещены в Китае и 5 – в Сингапуре, Австралии, ОАЭ, Европе и Африке. В Бэйдоу-1 навигатор является не только приемником, но и передатчиком сигнала. Система обеспечивает работу  $\leq 150$  навигаторов одновременно. Станция мониторинга через 2 спутника посылает сигнал пользователю, а устройство пользователя – ответный. Наземная станция по задержке сигнала рассчитывает координаты пользователя, определяет высоту и передает сигналы на устройство пользователя [7].

Для улучшения энергетики в наземных телекоммуникационных средствах спутниковых систем применяются новейшие методы кодирования и модуляции сигнала. Методы кодирования сигнала, минимизирующие ошибки в условиях помех, обеспечивают энергетический выигрыш до 6–8 дБ даже при расширении спектра сигнала. Актуальны блочные коды Хемминга, Рида-Соломона, БЧХ, древовидные сверточные, коды, реализующие треугольную амплитудно-фазовую манипуляцию и дополнительный энергетический выигрыш для увеличения скорости передачи сигнала. Полосы пропускания канала используют многопозиционную относительную фазовую и квадратурную амплитудно-фазовую манипуляцию.

Принципиальные недостатки спутниковой телекоммуникации: слабая помехозащищенность, влияние атмосферы, задержка распространения сигнала и влияние солнечной интерференции (она особенно сказывается при приближении солнца к оси «спутник – наземная станция», когда искажается сигнал, принимаемый наземной станцией со спутника). Слабая помехозащищенность связана с расстояниями между станциями и спутником, поэтому отношение сигнал/шум

на приемнике невелико. Для обеспечения приемлемой вероятности ошибки используются большие антенны, малошумящие элементы, сложные помехоустойчивые коды. Из-за эффектов в тропосфере (поглощение в ней) и ионосфере (флуктуации распределения свободных электронов, ионосферное мерцание) сказывается влияние атмосферы на качество спутниковой телекоммуникации. Задержка распространения сигнала особенно велика на геостационарной орбите.

Благодаря достижениям технологий нано- и микроэлектроники в качестве систем быстрой передачи сигнала используются современные телекоммуникации, мобильные и компьютерные сети (Bluetooth, ZigBee, WiMax, WiFi и др.). Известны экзотические системы, которые построены на общих принципах и схемах, но отличаются канальными адаптерами для подключения к каналам передачи сигнала.

*Отечественные разработки спутниковых технологий  
для железнодорожного транспорта*

ГЛОНАСС/GPS, а также системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и подвижной спутниковой связи используются в спутниковых технологиях для получения координатно-временных и навигационных данных об объектах отечественного железнодорожного транспорта. Необходимость разработки и внедрения спутниковых технологий определена стратегическими направлениями научно-технического развития ОАО «РЖД», а также Программой мер по обеспечению надежности инфраструктуры холдинга. Система спутникового мониторинга ГЛОНАСС/GPS позволяет бизнес-структурам РФ на практике: пресечь слив ГСМ и нецелевое использование техники; скорректировать нормы расхода топлива на разных режимах эксплуатации подвижного состава; оптимизировать и снизить затраты на обслуживание и ремонт; вести движение топлива в единой программе учета.

Для РФ, обладающей одной из самых больших по протяжённости железнодорожных сетей, спутниковый мониторинг – объективная необходимость. Но протяженность дорог – не основная причина, есть множество других проблем,

таких как слив топлива и машинного масла с тепловозов. Изношенный парк требует повышенного внимания к контролю и мониторингу за работой самой техники, чтобы минимизировать ее нецелевое использование и снизить затраты на эксплуатацию парка. Спутниковый мониторинг является решением проблем, связанных с эксплуатацией подвижных составов [10]: 1) осуществление мониторинга подвижного состава в online-режиме и контроль скорости движения, ускорения и торможения, маршрута, места и времени остановок; 2) контроль дизель-генераторной установки локомотива по параметрам запуска-остановка двигателя, наработки моточасов, времени работы двигателя и его оборотов; 3) контроль расхода топлива (количество заправленного топлива и фактически израсходованного).

Основные разработки по применению спутниковых технологий на железных дорогах РФ ведёт ОАО «НИИАС» (ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»). Так, подвижной состав оснащается комплексными локомотивными устройствами безопасности «КЛУБ-У» и «КЛУБ-УП» (производства ОАО «Ижевский радиозавод»), в которых используются приемники ГЛОНАСС/GPS: оборудованы более 10000 локомотивов и других подвижных объектов (более 40% от общего количества). Применение в ОАО «РЖД» ГНСС для совершенствования работы автоматизированных систем «МАЛС», «ГАЛС», «КЛУБ» и «САУТ» приносит экономический эффект за счёт повышения степени безопасности движения, увеличения функциональных возможностей систем диспетчерского управления и проч. Но не все ожидания разработчиков оправдались из-за низкой точности автономных способов определения местоположения и высокой стоимости функционирующих дифференциальных подсистем GPS.

ОАО «НИИАС» внедрил спутниковые технологии для контроля дислокации и управления движением подвижного состава [9]:

1) пусковые комплексы и диспетчерский контроль работ по лубрикации и использованию подвижных рельсосмазывателей;

2) диспетчерский контроль самоходных подвижных средств в составе дорожного телекоммуникационного поста приема и обработки сигналов ГЛОНАСС/GPS;

3) пусковой комплекс и систему мониторинга дислокации и поддержки принятия решений по направлению восстановительных поездов;

4) программно-аппаратные средства оперативной телерепортажной съемки с места чрезвычайной ситуации (на основе системы «Инмарсат»);

5) технология планирования, мониторинга и анализа работы спецтехники при ремонте инфраструктуры железной дороги; эта технология направлена на оптимизацию управления работами по ремонту и содержанию железнодорожной инфраструктуры; введены в эксплуатацию пусковые комплексы мониторинга дислокации спецтехники службы пути;

б) создана система управления пригородными перевозками, которая осуществляет оперативный контроль не только за дислокацией, но и за параметрами движения электропоездов; бортовыми навигационно-связными устройствами, интегрированными с «КЛУБ-У», оснащены электропоезда на Московской и на Октябрьской магистралях. В ОАО «НИИАС» разработана и внедрена технология мониторинга железных дорог на основе данных, во-первых, ГЛОНАСС/GPS, во-вторых, спутниковой радиолокационной съемки высокого разрешения и, в-третьих, геоинформационной БД по опасным природно-техногенным участкам на полигоне Туапсе – Адлер Северо-Кавказской железной дороги.

ОАО «РЖД» реализовало проект «Интеллектуальная система комплексного управления движением поездов на направлении Москва – Санкт-Петербург», внедряются спутниковые технологии при комплексной реконструкции участка Котельниково – Тихорецкая – Тимашевская Северо-Кавказской дороги. Отраслевое применение систем ДЗЗ связано с возможностями космической съёмки, которую обеспечивают оптико-электронные и радиолокационные спутники. Современные космические аппараты особенно эффективны при прогнозировании и оценке масштабов чрезвычайных ситуаций: имеют пространственное разре-

ние от 0,3 до 1 м при периодичности съемок заданной территории земной поверхности в 1–5 дней (в зависимости от широты объекта), оперативность начала съемки – в течение дня с момента размещения заказа. Для обеспечения безопасности пассажирских перевозок применяется оборудование системы «Инмарсат», рассматривается возможность использования спутниковых каналов для предоставления доступа к Интернету пассажирам фирменных поездов «Сапсан» и «Пендолино». Широкое применение для передачи данных с удаленных объектов и при перевозке грузов может найти отечественная низкоорбитальная спутниковая система «Гонец». Срок окупаемости практически всех проектов, где использованы спутниковые технологии, составляет 3 года, а по некоторым (например, работа подвижных рельсосмазывателей) не превышает 2-х лет.

Железнодорожный путь имеет фиксированное положение, его модель адекватна по точности для использования в АСУ движением поездов, в работе диагностических комплексов, выправочных машин и механизмов и других мобильных средств. Для создания координатно-цифровых моделей пути достаточно наличия радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS, глобальных систем координат с датумами WGS 84 и ПЗ-90, гироскопических и инерциальных средств измерений, геоинформационных систем и технологий. Координатные модели являются геометрической основой измерительных и навигационных кибернетических систем и могут заменить реперные системы контроля плана и профиля пути, выполняя функции непрерывных динамических геодезических сетей. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет путей сообщения» совместно с ОАО «НИИАС» исследуются возможности создания такой системы, разрабатываются алгоритмы и программное обеспечение анализа и оценки параметров моделей по результатам инерциальных и спутниковых измерений. Для повышения уровня надёжности и автоматизации управления разрабатывается кибернетический измерительный комплекс, основными элементами которого являются 2-частотные геодезические приемники ГЛОНАСС/GPS, 3-координатные гироскопические датчики эйлеровых углов, бесплатформенная инерциальная система, дат-

чики пути, контроллер для синхронизированной записи и предварительной обработки информационных потоков. Комплекс может устанавливаться на любой подвижной объект от путеизмерительной тележки до современного путеизмерительного комплекса с повышением эффективности работы систем «КЛУБ», «МАЛС», «ГАЛС» и «САУТ» [10]. Т. е. автоматизация работы подвижных железнодорожных объектов связана со спутниковым мониторингом, с внедрением и использованием спутниковых систем и технологий, с обработкой результатов контроля и измерений телекоммуникационными средствами.

### *Заключение*

Внедрению спутникового мониторинга нет альтернативы: только спутниковые технологии обеспечат современным железным дорогам достаточные пространственный охват и оперативное представление информации для принятия управленческих решений. Направления глобального развития спутникового мониторинга железнодорожного транспорта связаны с совершенствованием спутниковых систем (космического и пользовательского сегментов), наземных телекоммуникационных средств (управляющего сегмента), а также с разработками спутниковых технологий GPS, ГЛОНАСС, Галилео и Бэйдоу.

Учитывая общемировые технико-экономические и социально-гуманитарные перспективы, геополитический характер спутникового мониторинга, а также риски, связанные с ориентацией на GPS, представляется необходимым диверсифицировать инфраструктуру пользовательского сегмента ГЛОНАСС, расширив его номенклатуру и повысив технический уровень и качество. При оправданном использовании в РФ стандартов ГЛОНАСС и GPS, а также при выборе спутниковой группировки в процессе эксплуатации, целесообразно оказывать поддержку отечественным технологиям для нужд железнодорожного транспорта.



### **Список литературы**

1. Спутниковый мониторинг транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковый\\_мониторинг\\_транспорта](https://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковый_мониторинг_транспорта)
2. GPS – спутниковая система навигации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>
3. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
4. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000.
5. Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>
6. Спутниковая система навигации Галилео [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Галилео>
7. Навигационная система «Бэйдоу» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бэйдоу>
8. Телекоммуникационная спутниковая технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://works.doklad.ru/view/r8c\\_FSJLxLo/15.html](https://works.doklad.ru/view/r8c_FSJLxLo/15.html)
9. ГЛОНАСС/GPS для железнодорожников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aggf.ru/pr.php?nn=412> 20.04.2009
10. Лёвин Б.А. Теория адаптивных систем навигации и управления железнодорожного транспорта на основе глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и навигационных функций / Б.А. Лёвин, С.И. Матвеев, И.Н. Розенберг // М.: ВИНТИ РАН, 2014. – 110 с. Ил.

---

**Елисеев Владимир Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ЗАО «Институт инновационно-технологического менеджмента», Россия, Москва.

**Eliseev Vladimir Alekseevich** – doctor of engineering sciences, professor, chief scientist of LLC «Institute of technology and innovation management», Russia, Moscow.

---