



10. Bardushko V.D., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Printsipy postroeniya sistem elektrosnabzheniya zheleznykh dorog [Principles of construction of power supply systems for railways]. Moscow: Teplotekhnik Publ., 2014, 166 p.
11. Kotelnikov A.V. Elektrifikatsiya zheleznykh dorog: mirovye tendentsii i perspektivy [Electrification of railways: world trends and prospects]. Moscow: Intekst Publ., 2002, 104 p.
12. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Elektromagnitnaya bezopasnost' tyagovykh setei povyshennogo napryazheniya [Electromagnetic safety of traction networks of increased voltage]. Elektrobezopasnost' [Electrical safety], No. 4, 2016, pp. 4-11.
13. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Nguen Ty. Elektromagnitnaya bezopasnost' v tyagovykh setyakh s rassheplennymi ekstra-niruyushchimi i usilivayushchimi provodami [Electromagnetic safety in traction networks with split shielding and amplifying wires]. Vestnik RGUPS, No. 4(68), 2017, pp. 142-152.
14. Zakaryukin V., Kryukov A., Cherepanov A. Intelligent Traction Power Supply System. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 692. Springer, Cham, pp. 91-99.
15. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Avdienko I.M. Modelirovanie sistem tyagovogo elektrosnabzheniya, osnashchennykh simmetriruyushchimi transformatorami [Modeling of traction power supply systems equipped with balancing transformers]. Moscow; Berlin: Direkt-Media Publ., 2017, 168 p.
16. Zakaryukin V.P., Kryukov A. V. Modelirovanie elektromagnitnykh polei v tyagovykh setyakh, oborudovannykh otsasyvayushchimi transformatorami [Modeling of electromagnetic fields in traction networks equipped with negative boosting transformers]. Vestnik IrGTU [Proceedings of Irkutsk State Technical University], Vol. 21, No. 8, 2017, pp. 92-102.
17. Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G. Povyshenie kachestva energii v elektricheskikh setyakh [Increase the quality of energy in electrical networks]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1985, 268 p.
18. Multiple SVC installations for traction load balancing in Central Queensland. ABB Application Note A02-0134 E, 2011-03.
19. Amar Alsulami. Balancing Asymmetrical Load Using a Static Var Compensator. Master of Science Thesis. Department of Energy and Environment Division of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden 2014, 90 p.
20. Pana A. Active Load Balancing in a Three-Phase Network by Reactive Power Compensation, Power Quality and Monitoring, Analysis and Enhancement. In Dr. Ahmed Zobaa (ed.), 2011. ISBN: 978-953-307-330-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com>. Access date: 05.03.2018.
21. Saied M. Mohamed. Circuit for Balancing Harmonic-Polluted Three-Phase Networks. Electrical Power Quality and Utilisation, Journal Vol. XVI, No. 1, 2013, pp. 19-24.

Информация об авторах

Authors

Закарюкин Василий Пантелеймонович - д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zakar49@mail.ru
Крюков Андрей Васильевич - д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: and_kryukov@mail.ru
Астраханцев Леонид Алексеевич - д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

Zakaryukin Vasily Panteleimonovich – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zakar49@mail.ru
Kryukov Andrei Vasilievich – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Astrachancev Leonid Alexeevich – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Для цитирования

For citation

Закарюкин В. П. Амплитудно-фазовые характеристики несимметрии напряжений в системах электроснабжения железных дорог / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, А. А. Астраханцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 58 № 2. - С. 72–82. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).72-82.

Zakaryukin V. P., Kryukov A. V., Astrachancev L.A. Amplitudno-fazovye kharakteristiki nesimmetrii napryazhenii v sistemakh elektrosnabzheniya zheleznykh dorog [Amplitude and phase characteristics of non-symmetry of voltages in the railway electric supply systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 72–82. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).72-82.

УДК 007.5.681.518.3

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90

В. В. Демьянов, О. Б. Имарова

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация
 Дата поступления: 7 марта 2018 г.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ GNSS И НАПРАВЛЕНИЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. Тенденции развития современных транспортных систем ориентированы на максимальное повышение скорости движения и пропускной способности транспортных магистралей при сохранении максимальной безопасности движения. Очевидно, что эта народно-хозяйственная проблема решается только за счет автоматизации процесса управления дви-



жением и контроля графиков исполненного движения на транспортных магистралях. В свою очередь, автоматизация процессов управления транспортными операциями может быть реализована только на основе соответствующего высокоточного и надежного навигационно-временного обеспечения объектов транспорта и транспортной инфраструктуры. В настоящее время наблюдается процесс интеграции средств и датчиков навигационной информации в единую глобальную систему навигации, главным элементом которой являются национальные спутниковые радионавигационные системы. Развитие национальных спутниковых радионавигационных систем и их дифференциальных дополнений привело к построению всемирной интегрированной глобальной навигационной системы GNSS. В связи с этим появляются беспрецедентные возможности по обеспечению высокоточной навигации, синхронизации шкал времени и выполнению инженерно-строительных изысканий. Однако возникают и весьма серьезные проблемы «состыковок» национальных компонент GNSS-систем навигации GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo и др. Настоящая статья посвящается краткому обзору комплекса проблем, которые необходимо решить на уровне национальных спутниковых радионавигационных систем для их успешного вхождения в GNSS и реализации на этой основе высокоэффективного навигационно-временного обеспечения автоматизированных интеллектуальных транспортных систем. Отдельно оцениваются перспективы и проблемы развития российской радионавигационной системы ГЛОНАСС, которые требуется решить для эффективного использования средств ГЛОНАСС при решении задач построения автоматизированных транспортных систем.

Ключевые слова: транспорт, GNSS для транспортировки, GNSS, GPS, ГЛОНАСС, BeiDou.

V. V. Demyanov, O. B. Imarova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: March 7, 2018

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GNSS TECHNOLOGIES AND DIRECTIONS OF THEIR APPLICATION IN TRANSPORT

Abstract. Trends in the development of modern transport systems are oriented to the maximum speed increase and throughput of transport highways while maintaining maximum traffic safety. It is clear that this national economic problem is solved only due to automation of the train sheet control in transport highways. In its turn, automation of management processes transport operation can be implemented only on the basis of appropriate high-precision and reliable navigational and temporal support of transport objects and transport infrastructure. Currently there is an integration process of the means and sensors of navigation information into a single global navigation system, the main element of which is national satellite radio navigation systems. Development of national satellite radio navigation systems and their differential augmentations resulted in the construction of the world integrated global navigation system GNSS. In this connection, there are unprecedented opportunities to ensure high-precision navigation, synchronizing time scales and implementation of engineering and construction surveys. However, there are also serious problems in the integration of national GNSS components, such as GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and other navigation systems.

This article focuses on a brief overview of a set of problems that must be solved at the level of the national satellite radio navigation systems for their successful entry into GNSS and the implementation of highly efficient navigation and temporal support for automated intelligent transport systems on this basis.

The prospects and problems of the development of Russian radio navigation system GLONASS are assessed separately. They are required to be solved for effective use of the GLONASS means when solving problems of constructing automated transport systems.

Keywords: GNSS for transportation, GNSS, GPS, GLONASS, BeiDou.

Введение

Рост объемов грузовых и пассажирских перевозок требует автоматизации процесса управления транспортными потоками и перевозочным процессом, повышения пропускной способности транспортных магистралей и сокращения простоев единиц транспорта и транспортных составов за счет усовершенствования всех технических средств автоматизированного регулирования и контроля движения [1].

Мировым транспортным сообществом решение указанных актуальных народнохозяйственных проблем найдено в создании уже не просто отдельных специализированных систем управления транспортом, а интегрированных транспортных систем, в которых средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а управляющие решения принимаются на ос-

нове получаемой в реальном времени навигационно-временной и технологической информации [1-4]. Таким образом, речь идет о широком внедрении на различные виды транспорта интегрированной информационно-управляющей системы «люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства» с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий [5, 6]. Такие системы получили наименование интеллектуальных транспортных систем и могут быть реализованы на основе соответствующего высокоточного и надежного навигационно-временного обеспечения объектов транспорта и транспортной инфраструктуры на базе технологий спутниковой навигации [7, 8].

В частности, внедрение спутниковых технологий в ОАО «РЖД» на современном этапе осуществляется в соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской



Федерации до 2030 года» (Стратегия-2030). Одним из инновационных направлений реализации Стратегии-2030 является внедрение систем комплексного управления движением поездов, динамического мониторинга состояния инфраструктуры пути и подвижного состава с использованием спутниковых технологий [7].

С момента запуска в эксплуатацию первых глобальных спутниковых радионавигационных систем GPS (1980) и ГЛОНАСС (1990) количество прикладных приложений спутниковой навигации непрерывно растет большими темпами. Со времени запуска указанных первых глобальных спутниковых навигационных систем (GNSS) «монополия» на данные технологии давно ушла в прошлое. Сегодня в мире частично развернуты и планируются к вводу к 2020 году еще две глобальных навигационных системы: Galileo (European Union) и BeiDou (China). Кроме этого, вводятся в эксплуатацию региональные спутниковые радионавигационные системы QZSS (Japan) и IRNSS (India) [9, 15]. Помимо сказанного, развивается сегмент широкозонных дифференциальных дополнений, представленных на сегодня такими системами, как Wide Area Augmentation System (WAAS, USA), European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS, EU), The GPS Aided Geo Augmented Navigation system (GAGAN, India) и Региональная система дифференциальной коррекции и мониторинга (РСДКМ, Россия). Страны Азиатско-Тихоокеанского региона высказывают намерение в ближайшее время ввести в эксплуатацию свои национальные дифференциальные подсистемы. Кроме этого в мире наращиваются сети геодинимического и геофизического мониторинга и непрерывнодействующие сети навигационно-временных измерений (IGS, LPIM, etc.) [11]. Накапливаются международные и ведомственные базы данных геопространственных измерений, геофизических данных, корректирующих поправок к радиотехническим измерениям в системах радионавигации. Вводятся новые частоты и сигналы для увеличения помехозащищенности и повышения точности и разрешающей способности измерений радионавигационных параметров и сигналов точного времени. Ведущими странами мира ведутся активные работы по модернизации всех сегментов указанных выше навигационных систем и их наземных и космических функциональных дополнений [10, 12, 15].

Таким образом, сегодня накоплено огромное количество технических решений, долгопериодических баз геопространственных и иных сопутствующих измерений. Уже возможно достижение

сантиметровой точности позиционирования, в т. ч. в реальном масштабе времени для подвижных объектов. В режиме автономной навигации достигается точность позиционирования на уровне нескольких метров при доступности навигационно-временных определений практически в глобальной рабочей зоне на протяжении 99 % от времени наблюдений. В ближайшие годы можно ожидать «перехода от количества к качеству», т. е. перехода к всемирной глобальной навигации, позволяющей достигать беспрецедентной точности, непрерывности и целостности навигационно-временных определений любых подвижных и стационарных объектов в глобальной рабочей зоне при резком снижении цен на соответствующие сервисы и аппаратуру в сегменте пользователя.

Сказанное имеет важнейшее значение с точки зрения дальнейшего усовершенствования технологий «интеллектуального» транспорта и мониторинга текущего состояния транспортной инфраструктуры (железнодорожные пути, мосты, тоннели, путепроводы и пр.). Для принятия обоснованных решений по построению структуры датчиков и систем навигационной информации на транспорте требуется точно оценивать ближайшие перспективы развития технологий спутниковой навигации. Кроме этого, особенно важно понимать ограничения и факторы, которые будут препятствовать достижению потенциальных возможностей аппаратуры навигационно-временных определений будущего поколения. Настоящая статья посвящается краткому обзору комплекса проблем, которые необходимо решить на уровне национальных спутниковых радионавигационных систем для их успешного вхождения в GNSS и реализации на этой основе высокоэффективного навигационно-временного обеспечения автоматизированных интеллектуальных транспортных систем.

Проблемы и перспективы развития национальных систем спутниковой навигации

В регионе, охватывающем Россию и страны Юго-Восточной Азии, отмечается все возрастающий интерес к развитию таких направлений, как [13-15]:

- интеграция в единую систему GPS + BeiDou + ГЛОНАСС;
- геодезия и точное картографирование и «оцифровка» карт и инфраструктуры на основе высокоточных измерений по сигналам GNSS с привлечением дифференциальных дополнений;



- международные и национальные базы «пространственных данных» и высокоточный навигационный сервис через Интернет;

- дистанционное зондирование природных сред Земли из космоса с целью обнаружения опасных природных явлений и построения системы оперативного оповещения.

Для решения этих проблем на территории России, Китая (с особыми административными округами), Южной Кореи, Японии, Индонезии и Индии разворачиваются национальные наземные сети опорных станций в дополнение к национальным геодезическим сетям. Эти же сети являются необходимым элементом дифференциальных дополнений к спутниковым навигационным системам и дополнением к сетям геодинамического мониторинга и мониторинга геофизических и метеорологических параметров. Например, только на территории особого административного округа Гонконг развернуто около 100 таких станций. Каждая такая станция имеет точную геодезическую привязку и оборудована многосистемной приемной аппаратурой GNSS, метеостанцией, аппаратурой передачи данных в единый центр обработки информации и на сервер хранения данных.

В настоящее время можно выделить возможности совершенствования глобальных систем спутниковой навигации по следующим главным направлениям [13]:

1. Расширение орбитальной группировки путем запуска дополнительных спутников с параллельным проведением экспериментальных работ по изучению возможностей улучшения точности эфемерид, использования дополнительных частот и видов модуляции сигналов, тестирования бортовых стандартов времени и частоты.

2. Совершенствование частотно-временного и эфемеридного обеспечения. Здесь, прежде всего, для построения опорной шкалы времени системы предлагается использование новых стандартов частоты с относительной нестабильностью частоты 10^{-14} (наземный сегмент системы) и 10^{-13} для опорных генераторов на борту спутника. Для обеспечения точного эфемеридного обеспечения орбитальной группировки разворачиваются дополнительные средства беззапросных радиотехнических измерений и лазерных дальномеров. Причем имеется определенный интерес к разворачиванию этих средств и на территории России. Кроме сказанного предполагается использование межспутниковых измерений и введение дополнительных радиоканалов (Ка диапазон) для беззапросных дальномерных измерений.

3. Оптимизация частотного плана и выбор рабочих частот для будущих поколений орбитальных космических аппаратов.

4. Выбор спектрально-эффективных видов модуляции сигналов навигационных спутников, которые обеспечивают наилучшую помехозащищенность системы при оптимальном использовании частотного ресурса.

5. Разворачивание и модернизация национальных широкозонных дифференциальных систем. Например, в рамках этой работы на территории Китая уже развернуто 150 опорных измерительных станций системы, что в 5 раз больше, в сравнении с американской системой WAAS. Для улучшения качества коррекции ионосферных дальномерных погрешностей предполагается не только наращивание густоты указанных опорных станций, но и использование специальных видов интерполяции данных измерений ионосферной погрешности в пределах рабочей зоны.

В дальнейшем развитии «всемирной» глобальной спутниковой системы GNSS возникает ряд особо перспективных направлений, на которые и необходимо ориентироваться в первую очередь всем странам, которые располагают своими «национальными» спутниковыми навигационными системами и имеют серьезные глобальные интересы.

Прежде всего, важно определение экономической целесообразности и наиболее перспективных областей, куда в первую очередь необходимо внедрять технологии высокоточной навигации (PPP, RTK, e-GNSS). В настоящее время потенциальные возможности, которые могут дать технологии PPP, RTK, e-GNSS, явно недооценены. В первую очередь рекомендуется оценить целесообразность и потенциальные возможности от внедрения высокоточной навигации в такие области, как комплексные системы общественной безопасности; интеллектуальные транспортные системы; сельское хозяйство и управление водными ресурсами; управление городской инфраструктурой и мониторинг ее текущего состояния; синхронизация национальных стандартов времени и частоты.

Намечается принципиальный переход от концепции: качество вместо количества. В настоящее время есть тенденция наращивания технических средств и рабочих сетей со стороны национальных спутниковых радионавигационных систем и их функциональных дополнений. Имеется огромный рынок навигационной аппаратуры пользователя от простейшей до геодезического класса или специальных приемников-мониторов. Вместе с тем пока недостаточно развиваются технологии



более глубокого использования всех потенциальных возможностей будущей «всемирной» спутниковой навигационной системы. Есть проблемы с построением эффективных унифицированных алгоритмов «внутреннего» и «внешнего» контроля целостности спутниковых навигационных систем. Имеются большие сложности с разрешением «межсистемных» помех и искажений при синхронных измерениях по сигналам спутников отдельных систем навигации в рамках мультисистемной «унифицированной» аппаратуры пользователя GNSS. Пока основной процесс идет в сторону наращивания «национальных» сетей и систем, а также аппаратуры пользователя. Вместе с тем уже назрела необходимость унификации технических и организационных решений с переходом на международные базы данных, рациональное перераспределение возможностей «национальных» сетей и средств таким образом, чтобы наилучшим образом реализовать концепцию «глобальной навигации».

Имеется проблема «несостыковок» национальных подвижных геоцентрических систем координат (WGS-84, ПЗ-90), которая вызвана регулярным движением континентальных плит. Работы по ежегодной коррекции параметров национальных систем координат приводят к неоправданному расходу с точки зрения «глобальной навигации». Возникает важная международная проблема: построение или выбор «всемирной универсальной системы координат». По-видимому, проблема будет решаться путем привлечения международной геоцентрической системы координат (ITRF), которая поддерживается международным сообществом, на основе проведения измерений на всемирной сети опорных станций с привлечением средств лазерной локации (SLR), базисной интерферометрии (VLBI), существующих систем глобальной спутниковой навигации (GNSS), центрами обработки информации и точного определения параметров вращения Земли (IERS).

За последние 15-20 лет в мире развернут ряд опорных измерительных сетей и центров обработки информации, которые пока используются для решения научных и некоторых прикладных задач. Сюда входят сеть международной геодезической службы (IGS), сети непрерывно действующих опорных станций (CORS – continuously operating reference stations), которые развернуты рядом государственных агентств и даже частных компаний именно для поддержки высокоточных координатно-временных определений на конкретных территориях (административный округ или государ-

ство). Ставится задача, во-первых, расширить существующие и создавать новые опорные сети и, во-вторых, рассмотреть вопрос о том, как использовать возможности и базы данных указанных опорных сетей, чтобы наилучшим образом обеспечить реализацию высокоточной «глобальной» навигации в рамках единой универсальной всемирной концепции GNSS [15].

Поскольку опорные наземные сети являются основным элементом, который может обеспечить «глобальную» навигацию с миллиметровым уровнем погрешности, то важно решить два вопроса. Во-первых, какова, в пределе, должна быть оптимальная плотность размещения опорных станций в рамках объединенной глобальной опорной сети. Во-вторых, целесообразно ли размещать опорные сети и станции по всей территории Земли, или же есть некоторая оптимальная конфигурация размещения опорных сетей и станций, при которой наилучшим образом и при оптимальных затратах может быть реализована концепция «глобальной» высокоточной навигации.

Вообще, чтобы обеспечить высокоточный режим дифференциальной навигации, а также точное определение необходимых геодезических и геоинформационных параметров, требуется использование сети опорных станций с пространственным разнесением от 10 км. Чтобы покрыть всю земную поверхность такой густой сетью опорных станций, понадобилось бы практически неприемлемое число опорных станций. В целом этот вопрос пока остается открытым. Лучшее решение видится пока в дальнейшем расширении «частных» сетей типа CORS с решением вопросов о создании глобальных общедоступных баз данных геоинформации и сопровождающей геофизической информации и реализации на этой основе технологий высокоточной навигации через Internet (e-GNSS) [14, 15]. Но и здесь будет необходимо решить множество попутных проблем, главные из которых: «право собственности» на продукты каждой «частной сети»; баланс «национальных» и «глобальных» интересов; усложнение алгоритмов и моделей измерений при обработке мультисистемных и мультисетевых измерений; дальнейшее ужесточение требований к частотно-временному и эфемеридному обеспечению; необходимость приведения «к общему знаменателю» соответствующих технических и структурных характеристик отдельных «национальных» спутниковых радионавигационных систем.

Одним из ключевых направлений развития «всемирной» системы GNSS является развитие функциональных дополнений систем спутниковой



навигации (широкозонных и локальных дифференциальных систем) и объединение их возможностей в рамках «всемирной» GNSS. Изначально дифференциальные дополнения создавались для авиационных приложений (навигация в зоне аэродромов, точный заход на посадку и посадка по категориям ICAO). При этом, по требованиям ICAO, должна была обеспечиваться погрешность позиционирования на уровне десятых долей метра. В настоящее время возникло своеобразное «белое пятно» в диапазоне погрешностей, которые обеспечиваются с привлечением дифференциальных систем (дециметры) и с помощью средств высокоточной навигации (миллиметры). Первый вопрос, которым планируется заняться в этом направлении: возможно ли обеспечить сантиметровую и миллиметровую точность навигации при использовании средств широкозонной навигации? Вторым вопросом: каков круг потенциальных пользователей указанного сервиса и, соответственно, будет ли экономически целесообразно вести дальнейшее развитие широкозонных систем в направлении увеличения точности и расширения круга пользователей данного сервиса? Третий вопрос самый главный: имеется ли целесообразность вообще создавать свои национальные системы широкозонной дифференциальной навигации в тех странах, где таковых пока нет? В целом решение указанного вопроса остается открытым. Возможная альтернатива широкозонным и даже локальным дифференциальным системам - это использование сетей типа CORS в качестве опорных дифференциальных сетей; использование средств и баз данных e-GNSS; разработка и продвижение на массовый рынок дешевой двух- и многочастотной аппаратуры пользователя, а также миниатюрных фазированных антенных решеток. Это позволит эффективно компенсировать наиболее значительные ионосферные погрешности дальномерных и навигационных определений и шумы многолучевого распространения в условиях «городских каньонов» и на пересеченной местности.

Отдельно интересно отметить основные моменты, связанные с программой модернизации и развития GPS. Прежде всего, GPS традиционно рассматривается как ведущая система в реализации будущей концепции «всемирной» навигационной системы GNSS. Поэтому руководство США и соответствующие ведомства весьма заинтересованы в том, чтобы обеспечить полнейшую интеграцию GPS и ее функциональных дополнений в GNSS. Все планы по дальнейшему развитию GPS и WAAS строятся с учетом сказанного выше. Предполагается всяческое поощрение других

участников «всемирной» навигационной системы GNSS к интеграции в нее. С этой целью руководство США заявляет о следующем. Во-первых, США будут и дальше обеспечивать доступ к сервисам и возможностям GPS и WAAS всем заинтересованным «иностранным» участникам, которые планируют их использование в мирных целях. Во-вторых, гарантируется широкое предоставление всем заинтересованным сторонам (в т. ч. и иностранным) сервисов высокоточного позиционирования и точного времени (PNT).

Основные направления дальнейшей модернизации GPS на ближайшее будущее будут, по видимому, следующими [14]:

1) разработка нового поколения навигационной аппаратуры пользователей, которая должна обеспечивать устойчивый прием и обработку сигналов всех действующих «национальных» спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS);

2) решение проблемы «состыковки» отдельных «национальных» спутниковых навигационных систем в плане согласования использования частотного диапазона, подавления межчастотных и межсистемных помех, повышения устойчивости решения навигационных задач в условиях неравноточных измерений и межсистемных «биений»;

3) дальнейшее расширение орбитальной группировки с вводом нового поколения орбитальных блоков, излучающих сигналы на частотах и со структурой, которая обеспечивает легкую интеграцию в GNSS;

4) решение проблем «кибербезопасности» в связи с тем, что планируется все более и более наращивать использование технологий e-GNSS;

5) проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию частотно-временного и эфемеридного обеспечения GPS.

Планируется и дальше расширять круг пользователей именно GPS, для чего предусматривается ввод дополнительных «гражданских» частот и соответствующих дальномерных открытых кодов (сигналы L1C, L2C, L5). Ведется маркетинговая и рекламная работа по привлечению пользователей GPS по всему миру. Проводится активная работа по налаживанию двухстороннего сотрудничества между США и каждой из стран - обладательниц своей «национальной» спутниковой навигационной системы.

Выводы

Подведем итог и скажем несколько слов о перспективах и проблемах развития российской радионавигационной системы ГЛОНАСС, кото-



рые требуется решить для эффективного использования средств ГЛОНАСС при решении задач построения автоматизированных транспортных систем в указанном выше тренде всемирного научно-технического развития.

В мире последние 10 лет с возрастающей активностью идет процесс создания интегрированной глобальной мультинавигационной системы GNSS, в которую должны быть интегрированы все основные национальные спутниковые радионавигационные системы (ГЛОНАСС, GPS, BeiDou, Galileo, QZSS). Эта работа ведется во всех странах - разработчиках указанных национальных СРНС и закреплена в национальных радионавигационных планах (РНП). В связи с этим необходимо подчеркнуть целесообразность и необходимость интеграции ГЛОНАСС во всемирную интегрированную систему глобальной навигации GNSS по следующим направлениям.

На территории России необходимо и далее активно развивать свои опорные сети типа CORS, что во взаимодействии с аналогичными сетями на территориях иностранных государств даст возможности по покрытию большей части территории России сервисом высокоточных координатно-временных определений. Это будет достигнуто за счет использования данных сетей в качестве опорных дифференциальных сетей, за счет уточнения геодинамики континентальных плит Евразии, внесения уточнений в определение параметров вращения Земли и за счет включения в систему e-GNSS.

Необходимо добиваться расширения круга пользователей ГЛОНАСС с привлечением иностранных участников и инвестиций. Сегодня это возможно, только если ГЛОНАСС будет в перспективе интегрирована во «всемирную GNSS». Коммерциализация ГЛОНАСС на международном уровне даст значительные материальные фонды для модернизации отечественной системы и соответствующих практических и научных приложений.

Требуется наладить обмен данными измерений отечественных и зарубежных опорных сетей различных ведомств (включая коммерческие сети) и специальных средств мониторинга орбитальных группировок - это одна из важнейших возможностей совершенствования эфемеридного обеспечения орбитальной группировки ГЛОНАСС.

Необходимо приложить максимум усилий и инвестиций к развитию отечественной мультисистемной аппаратуры пользователей GNSS, а также модернизированных орбитальных блоков. Это огромный рынок наукоемких технологий, где ре-

шение задачи адаптации ГЛОНАСС к «всемирной GNSS» должно оставаться исключительно за Россией. Но занятие этой научно-технологической ниши может быть основано только на том, что отечественные ученые и инженеры-конструкторы полностью и на современном уровне вовлечены в международные проекты в рамках «всемирной GNSS». Если ГЛОНАСС останется «на обочине» этого проекта, то очень скоро мы просто потеряем целесообразность обладания своей национальной глобальной спутниковой навигационной системой, поскольку поддерживать эту систему нам придется исключительно за свои средства.

Важнейшее значение имеет и совершенствование эфемеридного и частотно-временного обеспечения. Зарубежными коллегами анализируется качество нашего частотно-временного и эфемеридного обеспечения, которое пока недостаточно для привлечения к ряду международных проектов. Например, в Австралии в связи с «возрождением ГЛОНАСС» появился интерес к привлечению сигналов ГЛОНАСС к наращиванию объема региональных измерений параметров нижней атмосферы в интересах повышения точности прогнозирования паводковых ливней. Однако наблюдения показали, что пока ГЛОНАСС мало помогает в решении этой задачи, и интересы австралийских коллег начинают смещаться в сторону BeiDou.

Имеются дополнительные ограничения по использованию сигналов ГЛОНАСС для указанных выше целей в связи с тем, что, в отличие от других спутниковых радионавигационных систем, ГЛОНАСС использует технологию FDMA для разделения сигналов отдельных спутников. Это усложняет процесс обработки сигналов и, соответственно, удорожает реализацию обработки сигналов. В настоящее время новейшие орбитальные аппараты уже дооборудованы сигналами с кодовым разделением каналов. Но пока этого совершенно недостаточно и для внутренней коммерциализации ГЛОНАСС, и, тем более, для выхода в глобальные международные проекты на равных с другими указанными выше навигационными системами.

Еще одной потенциальной проблемой ГЛОНАСС является то, что в России недостаточно внимания уделяется рассмотрению вопросов построения своей национальной широкозонной дифференциальной системы. Вопросы использования сетей локальной дифференциальной коррекции рассматриваются больше на ведомственном уровне (в основном касательно авиационного и морского транспорта). А вот вопросы разворачивания своих непрерывно действующих опорных



сетей типа CORS и соответствующих центров обработки информации и хранения баз данных рассмотрены и развернуты пока явно недостаточно. Необходимо серьезно пересмотреть концепцию по построению национальных систем дифференциальной коррекции для ГЛОНАСС, учитывая разработку наших зарубежных коллег и, в особенности, печальный опыт с фактическим состоянием использования американской WAAS и европейской

EGNOS. Необходимо уделить отдельное внимание созданию национальных центров обработки геофизической и геодинамической информации, и развертыванию своих национальных сетей типа CORS, которые будут являться одним из важнейших элементов для вхождения нашего сегмента навигации и времени в глобальные проекты по развитию транспортных систем и магистралей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тони О.В., Розенберг И.Н., Альшутлер Б.Ш. и др.; под ред. В.И. Якунина. Спутниковые технологии на железных дорогах России. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2008. – 136 с.: ил.
2. Гапанович В.А. Спутниковые технологии в инновационной стратегии ОАО «РЖД» // Автоматика, связь, информатика, №9, с. 2-4, 2008.
3. Полторацкий В. Е. Компания «М2М телематика» представляет ГЛОНАСС / GPS решения для отрасли железнодорожных перевозок // Т-COMM, Специальный выпуск: «Информационные технологии на транспорте», с. 5, 2009.
4. Гапанович В.А. Рациональное использование спутниковых технологий в комплексе антикризисных мероприятий ОАО «РЖД» // Евразия Вести, №7, с.3, 2009.
5. Гапанович В.А. Стратегические направления научно-технического развития компании // Белая книга ОАО «РЖД» / Железнодорожный транспорт. - № 8. – 2007.
6. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года. Электронный ресурс: (http://doc.rzd.ru/wps/portal/doc?STRUCTURE_ID=5086&layer_id=3368&refererLayerId=3367&id=3770&print=0 (дата обращения: 01.03.2018))
7. Тильк И.Г., Ляной В.В. Перспективы развития систем ИРДП // Автоматика, связь, информатика. - 2007. - № 8. - С. 7-9.
8. El-Mowafy A (2014a) GNSS Multi-Frequency Receiver Single-Satellite Measurement Validation Method. GPS Solutions 18(4): 553-561. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0352-6>.
9. El-Mowafy A (2014b) GNSS multi-frequency receiver single-satellite measurement validation method. GPS Solutions 18: 553. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0352-6>.
10. Global positioning system wide area augmentation system (WAAS) performance standard (2008). Appendix B, 1st Edition.
11. Hakansson M, Jensen ABO, Horemuz M, and Hedling G (2017) Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning. GPS Solutions 21:849–860. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>.
12. Hilla S, and Cline M (2004) Evaluating pseudorange multipath effects at stations in the National CORS Network. GPS Solutions 7:253–267. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0073-3>.
13. Montenbruck O, Steigenberger P and Hauschild A (2015) Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. GPS Solutions 19:321–333. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0390-8>
14. Rizos C. Trends in GPS Technology & Applications. Electronic Resource available at: <https://www.researchgate.net/publication/267254924>.
15. Walter T, Enge P, Reddan P (2004) Modernizing WAAS. Presented at the International Symposium on GNSS/GPS, December, 2004, Sydney, Australia [Electronic resource]. – Stanford, 2004. URL: http://web.stanford.edu/group/scpnt/gpslab/pubs/papers/Walter_IONGNSS_2004.pdf

REFERENCES

1. Toni O.V., Rozenberg I.N., Al'tshuler B.Sh. et al. Sputnikovye tekhnologii na zheleznykh dorogakh Rossii [Satellite technologies in the railways of Russia]. In Yakunin V.I. (ed.). Moscow: IPTs «Dizain. Informatsiya. Kartografiya» Publ., 2008, 136 p.: il.
2. Gapanovich V.A. Sputnikovye tekhnologii v innovatsionnoi strategii OAO «RZhD» [Satellite technologies in the innovation strategy of «Russian Railways» OOO]. Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication and Informatics]. No.9, 2008, pp. 2-4.
3. Poltoratskii V. E. Kompaniya «M2M telematika» predstavlyayet GLONASS/GPS resheniya dlya otrasli zheleznodorozhnykh perevozok [The "M2M telematics" company represents GLONASS / GPS solutions for the railway transportation industry]. T-COMM, Spetsial'nyi vypusk: «Informatsionnye tekhnologii na transporte» [T-COMM, Special issue: "Information technologies in transport"], 2009, p. 5.
4. Gapanovich V.A. Ratsional'noe ispol'zovanie sputnikovykh tekhnologii v komplekse antikrizisnykh meropriyatii OAO «RZhD» [Rational use of satellite technologies in the complex of anti-crisis measures of «Russian Railways» OOO]. Evraziya Vesti, No.7, 2009, p.3.
5. Gapanovich V.A. Strategicheskie napravleniya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya kompanii [Strategic directions of scientific and technical development of the company]. Belaya kniga OAO «RZhD» / Zheleznodorozhnyi transport [The White Book of Russian Railways OOO / Railway transport], No. 8, 2007.
6. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda [Strategy for the development of rail transport in the Russian Federation until 2030]. Electronic resource: (http://doc.rzd.ru/wps/portal/doc?STRUCTURE_ID=5086&layer_id=3368&refererLayerId=3367&id=3770&print=0 (access date: 01.03.2018))
7. Til'k I.G., Lyanoi V.V. Perspektivy razvitiya sistem IRDP [Prospects for the development of systems for the interval regulation of train traffic]. Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication and Informatics], 2007, No. 8, pp. 7-9.
8. El-Mowafy A (2014a) GNSS Multi-Frequency Receiver Single-Satellite Measurement Validation Method. GPS Solutions 18(4): 553-561. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0352-6>.



9. El-Mowafy A (2014b) GNSS multi-frequency receiver single-satellite measurement validation method. GPS Solutions 18: 553. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0352-6>.
10. Global positioning system wide area augmentation system (WAAS) performance standard (2008). Appendix B, 1st Edition.
11. Hakansson M, Jensen ABO, Horemuz M, and Hedling G (2017) Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning. GPS Solutions 21:849–860. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>.
12. Hilla S, and Cline M (2004) Evaluating pseudorange multipath effects at stations in the National CORS Network. GPS Solutions 7:253–267. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0073-3>.
13. Montenbruck O, Steigenberger P and Hauschild A (2015) Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. GPS Solutions 19:321–333. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0390-8>.
14. Rizos C. Trends in GPS Technology & Applications [Electronic Resource]. <https://www.researchgate.net/publication/267254924>.
15. Walter T, Enge P, Reddan P (2004) Modernizing WAAS. Presented at the International Symposium on GNSS/GPS, December, 2004, Sydney, Australia [Electronic resource]. Stanford, 2004. URL: http://web.stanford.edu/group/scpnt/gpslab/pubs/papers/Walter_IONGNSS_2004.pdf

Информация об авторах

Authors

Демьянов Владислав Владимирович - д. т. н., доцент, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sword1971@yandex.ru

Имарова Ольга Борисовна – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: imarova2010@mail.ru

Dem'yanov Vladislav Vladimirovich – Doctor of Engineering Science, Assoc. Prof., Prof., the Subdepartment of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sword1971@yandex.ru

Imarova Ol'ga Borisovna – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: imarova2010@mail.ru

Для цитирования

For citation

Демьянов В. В. Тенденции развития технологий GNSS и направлений их применения на транспорте / В. В. Демьянов, О. Б. Имарова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 58 № 2. - С. 82–90. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90.

Dem'yanov V. V., Imarova O. B. Tendentsii razvitiya tekhnologii GNSS i napravlenii ikh primeneniya na transporte [Trends in the development of GNSS technologies and directions of their application in transport]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2018, Vol. 58, No. 2, pp. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).109-90.

УДК 629.421.1

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).90-97

А. П. Буйносов, Д. В. Волков, И. В. Умылин

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Дата поступления: 11 апреля 2018 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ РАЗНОСТИ В ДИАМЕТРАХ БАНДАЖЕЙ НА ОДНОЙ КОЛЕСНОЙ ПАРЕ МОТОРНОГО ВАГОНА ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

Аннотация. Приведена разработанная методика определения в эксплуатации предельной разности в диаметрах бандажей на одной колесной паре моторных вагонов электропоездов серий ЭД, ЭР и ЭТ депо Нижний Тагил и Пермь-2. Показано, что значение предельной разности в диаметрах может значительно различаться и зависит от реальных условий эксплуатации. Неравенство в диаметрах кругов катания как на одной колесной паре, так и на всех колесных парах под единицей железнодорожного подвижного состава оказывает существенное влияние на их перекос относительно оси рельсовой колеи. Тележка становится «шаловой». В большинстве случаев причиной усиленного износа гребневой части бандажей является проскальзывание колесных пар в результате их всползания и (или) соскальзывания относительно рельса. Процесс всползания и соскальзывания неизбежно влечет за собой интенсивный износ гребневой части поверхности катания колесных пар моторвагонного подвижного состава и рельсов. В большинстве моторвагонных депо, выполняющих ремонт электропоездов, разность в диаметрах колес одной колесной пары моторного вагона оценивают по толщине их бандажей, что неверно. Для одной колесной пары различие в диаметрах бандажей моторного вагона электропоезда не нормируется. По разработанной методике можно выполнить расчет предельной в эксплуатации разности в диаметрах колес на одной колесной паре и для других типов ПС (пассажирские и грузовые вагоны, МВПС, дрезины и др.) и серий железнодорожного подвижного состава. Необходимо контролировать величину разности диаметров бандажей и не допускать выхода за установленную предельную величину.

Ключевые слова: электропоезд, моторный вагон, колесная пара, бандаж, диаметр, предельная разность, определение.