

Д.С. Халиманов, В.В. Демьянов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ГНСС В СОСТАВЕ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ИРДП

Аннотация. Рассмотрена одна из проблем внедрения систем координатного управления и интервального регулирования движения поездов на основе использования аппаратуры спутниковой навигации. Предложено использование локальных дифференциальных систем ведомственного назначения для транспортных приложений. Проведен анализ эффективности расчета контроля доступности требуемых навигационных характеристик, применяемого в американской широкозонной дифференциальной системе WAAS и отечественной системе дифференциальной коррекции и мониторинга.

Ключевые слова: интервальное регулирование движения поездов, ГЛОНАСС, GPS, контроль доступности требуемых навигационных характеристик.

D.S. Khalimanov, V.V. Dem'yanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

AVAILABILITY CONTROL ALGORITHM OF NAVIGATION DEFINITIONS OF GNSS IN THE COMPOSITION OF THE IRDP

Abstract. One of the problems of implementation of coordinate control systems and interval control of train movement on the use of satellite navigation equipment is considered. The use of local differential systems for departmental purposes for transport applications is proposed. The analysis of the effectiveness of calculating the availability control of the required navigation parameters used in the American Wide Area Augmentation System and the Russian system of differential correction and monitoring.

Keywords: interval control of train movement, GLONASS, GPS, availability control required navigation parameters.

Введение

Развитие ОАО «РЖД» предусматривает внедрение современных спутниковых навигационных технологий, нацеленных на существенное повышение пропускной способности транспортных магистралей и сокращение простоев подвижных составов [1,2].

Наличие высокоточного координатно-временного обеспечения от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в совокупности со средствами надежной доставки информации с использованием цифровых систем связи и цифровых карт железнодорожных путей позволяет приступить к созданию систем координатного управления и интервального регулирования движения поездов (ИРДП) на основе использования аппаратуры спутниковой навигации, как датчика информации о текущем межпоездном интервале и скорости сближения поездов.

Внедрение системы координатного управления и ИРДП существенно повысит пропускную способность транспортных магистралей, что повлечет за собой снижение эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок, повышение производительности труда и получение дополнительной прибыли.

Одной из проблем внедрения такой системы на Российских железных дорогах является фактическая непредсказуемость текущей точности координатных определений средствами ГНСС. Ошибка точности зависит от ионосферной и тропосферной погрешностей, которые часто изменяются в значительных пределах, особенно в условиях геомагнитных возмущений, а также в условиях высокоширотной и низкоширотной ионосферы [3].

Использование канала спутниковой информации в качестве ведущего в ИРДП предполагает жесткое соблюдение требуемых навигационных характеристик (ТНХ), а именно:

- среднеквадратическая погрешность (СКП) определения местоположения подвижного состава меньше 0.5 метра (точность ГНСС);
- готовность системы к эксплуатации с вероятностью 99.98% (доступность ГНСС);
- период оповещения о нарушении работы системы 1 секунда (целостность ГНСС) [4].

Необходимым условием обеспечения ТНХ на транспорте является использование функциональных дополнений ГНСС - локальных и широкозонных дифференциальных систем. Средства дифференциальной навигации обеспечивают, как высокую точность позиционирования, так и эффективный контроль доступности ТНХ в реальном масштабе времени [5]. Таким образом, полномасштабное внедрение средств дифференциальной навигации на железной дороге открывает широкие перспективы и для использования всех потенциальных преимуществ от внедрения ГНСС, как основного элемента интеллектуальных транспортных систем.

За рубежом уже достаточно давно введены в эксплуатацию широкозонные дифференциальные системы (ШДС) WAAS (США) и EGNOS (Евросоюз). Данные системы, в большинстве случаев, обеспечивают точность позиционирования с остаточной погрешностью на уровне 1-3 м с доступностью ТНХ не хуже 0.9999 при времени предупреждения пользователя не более 10 с [6]. Несмотря на указанные высокие характеристики, «ахиллесовой пятой» ШДС остается недостаточная надежность в условиях нерегулярных воздействий: геомагнитных возмущений ионосферы, электромагнитных помех, экранирования сигналов части видимых спутников объектами инфраструктуры и пр. То же самое можно сказать и об отечественной системе дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) [7].

Для транспортных приложений наилучшим выходом могло бы стать использование локальных дифференциальных систем (ЛДС) ведомственного назначения. Таковые уже достаточно широко используются в составе радиотехнических комплексов наведения и посадки воздушных судов [8]. Но и здесь еще в недостаточной мере проработан вопрос контроля ТНХ с учетом нерегулярных воздействий.

В настоящей работе рассматривается проблема контроля доступности ТНХ пользователей ГНСС в реальном времени для транспортных приложений. Производится анализ эффективности расчета контроля доступности ТНХ, используемых в ШДС WAAS и СДКМ.

Концепция контроля доступности ТНХ, используемая в системах WAAS и СДКМ

Алгоритмы контроля доступности ТНХ WAAS [9] (SBAS+GPS) и СДКМ (SBAS+ГЛОНАСС) разработаны для повышения точности и обеспечения целостности определения местоположения морских, воздушных, сухопутных и космических потребителей навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и GPS [7].

Работа алгоритма оценивания текущей доступности ТНХ в указанных выше ШДС заключается в следующем. Главная станция вычисляет параметры целостности сегментов системы и дифференциальные поправки для компонент дальномерных погрешностей спутников, находящихся в зоне видимости, и отправляет их пользователю. С учетом поправок дальномерных погрешностей и реальной наблюдаемой геометрии спутников в аппаратуре пользователя системы вычисляются текущие «уровни защиты» в горизонтальной (HPL) и вертикальной плоскости (VPL) в локальной системе координат. Пользовательский приемник сравнивает вычисленные уровни защиты с доверительными интервалами, установленными для горизонтальной плоскости (HAL) и вертикальной плоскости (VAL). Доверительные интервалы образуют границы «цилиндра безопасности» - области пространства, в пределах которой должен фактически находиться пользователь, чтобы не нарушить ТНХ. Если один из уровней защиты выходит за пределы доверительного интервала, то формируется признак недоступности ТНХ в текущий момент времени.

Алгоритм оценки доступности ТНХ в плане и по высоте, используемый в WAAS и СДКМ имеет следующий вид [7,9]:

$$\begin{aligned}
HPL &= K_H \cdot d_{major}; \\
VPL &= K_V \cdot d_V; \\
d_{major} &= \sqrt{\frac{d_X^2 + d_Y^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_X^2 - d_Y^2}{2}\right)^2 + d_{XY}^2}}; \\
d_X^2 &= \sum_{i=1}^N s_{X,i}^2 \cdot \sigma_i^2; \quad d_Y^2 = \sum_{i=1}^N s_{Y,i}^2 \cdot \sigma_i^2; \quad d_V^2 = \sum_{i=1}^N s_{V,i}^2 \cdot \sigma_i^2; \\
d_{XY} &= \sum_{i=1}^N s_{X,i} \cdot s_{Y,i} \cdot \sigma_i^2; \\
\mathbf{S} &= \begin{pmatrix} S_{X,1} & S_{X,2} & \dots & S_{X,N} \\ S_{Y,1} & S_{Y,2} & \dots & S_{Y,N} \\ S_{V,1} & S_{V,2} & \dots & S_{V,N} \\ S_{t,1} & S_{t,2} & \dots & S_{t,N} \end{pmatrix} = (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \cdot \mathbf{W},
\end{aligned} \tag{1}$$

где $K_H = 6.0$ – коэффициент уровня защиты HPL; $K_V = 5.33$ – коэффициент уровня защиты VPL; \mathbf{G} – текущая геометрическая матрица направляющих косинусов "спутники-пользователь"; \mathbf{W} – диагональная матрица дисперсии дальномерных погрешностей; σ_i – среднеквадратическое отклонение измеренных ионосферных дальномерных погрешностей для i -го спутника.

Анализ эффективности использования расчета контроля доступности ТНХ ШДС WAAS и СДКМ

Качество позиционирования пользователей GPS анализируется для случая автономной навигации без дифференциальной коррекции во время геомагнитной бури 22-23 июня 2015. Для проведения исследований мы использовали архивы данных RINEX 2.0 с 30-ти секундным временным разрешением регистрации дальномерных измерений [10]. Каждый файл данных содержит суточные измерения всех видимых спутников GPS на одной из стационарных станций, расположенных в Канаде.

Расчет горизонтального уровня защиты (1) для стационарных станций выполнялся с использованием смоделированных дальномерных измерений и с учетом реальной наблюдаемой геометрии спутников в программном комплексе MathLAB.

На рисунке 1 представлены среднеквадратические отклонения дальномерной погрешности (СКО ДП) каждого видимого спутника.

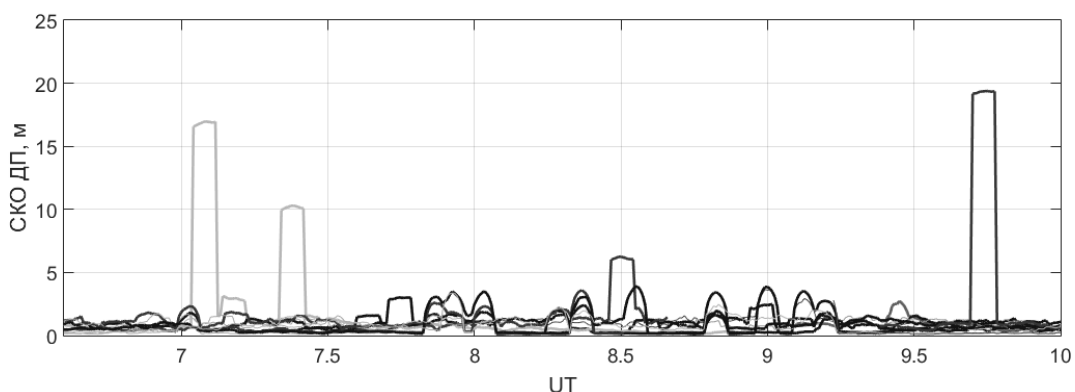


Рис. 1. Величина СКО ДП каждого видимого спутника от времени UT

На рисунке 2 представлен геометрический фактор точности определения местоположения станции по горизонтали (HDOP).

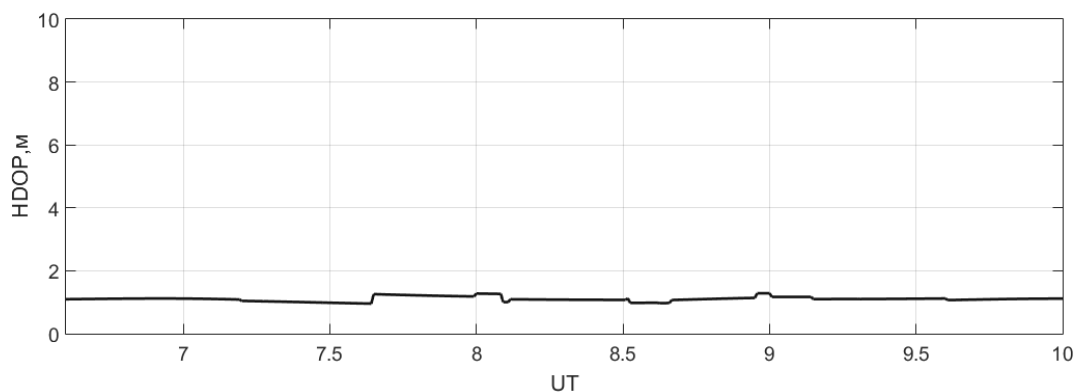


Рис. 2. Величина HDOP от времени UT

На рисунке 3 представлено значение рассчитанного HPL.

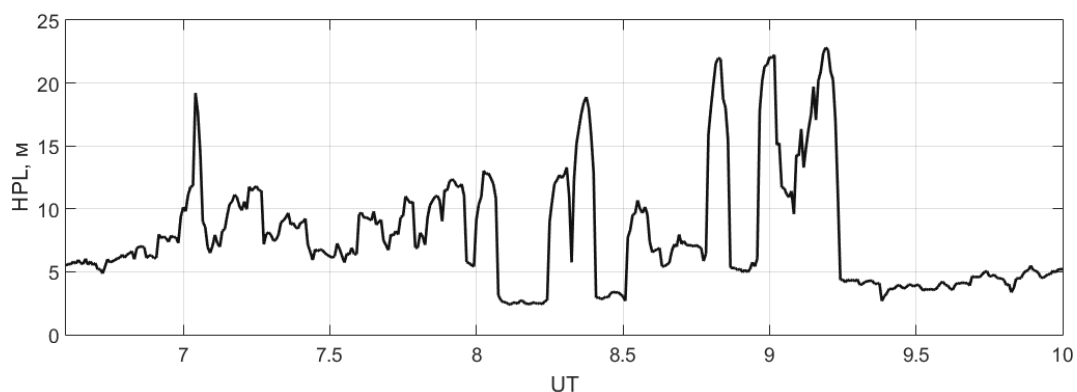


Рис. 3. Величина HPL от времени UT

На рисунке 4 представлена горизонтальная погрешность координаты станции, рассчитанная по формуле:

$$S_{XY} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (2)$$

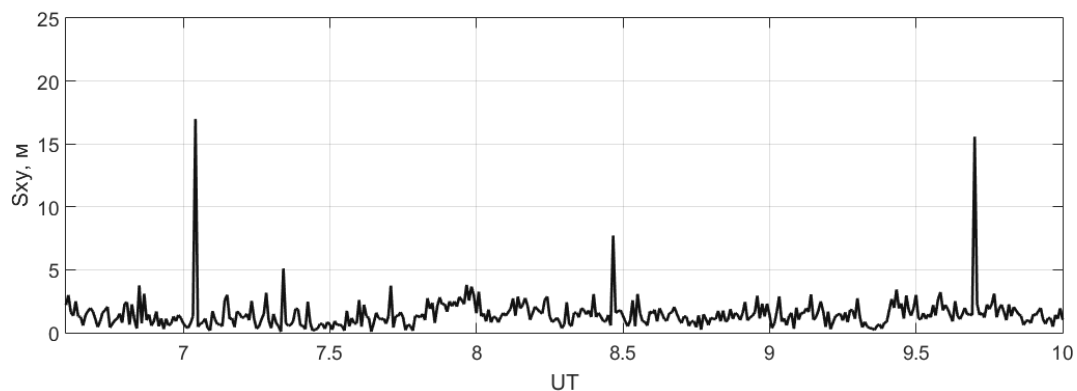


Рис. 4. Величина горизонтальной погрешности координаты станции от времени UT

Проанализировав результаты исследования, можно выделить три сценария работы алгоритма:

- 1) HPL реагирует на увеличение СКО ДП, при этом величина горизонтальной погрешности координаты станции действительно большая. Подобный случай мы наблюдаем на рисунках 1-4 на интервале времени от 7 до 7.5 UT.
- 2) HPL увеличивается до больших значений, при этом значение СКО ДП и горизонтальной погрешности координаты станции примерно в 5 раз меньше. Подобный случай мы наблюдаем на рисунках 1-4 на интервале времени от 8.5 до 9.5 UT.

- 3) NPL не реагирует на увеличение СКО ДП, при этом величина горизонтальной погрешности координаты станции действительно большая. Подобный случай мы наблюдаем на рисунках 1-4 на интервале времени от 9.5 до 10 UT.

Третий сценарий работы алгоритма недопустим. Использование данного алгоритма ведет к нарушению требований безопасности движения.

Заключение

Исследуемый алгоритм контроля доступности ТНХ не пригоден для использования в системах координатного управления и ИРДП. Алгоритм контроля доступности ТНХ нуждается в дополнительных исследованиях и модернизации в области его математического описания.

Актуальным остается вопрос создания эффективного метода контроля доступности ТНХ ГНСС в условиях внезапных неблагоприятных геофизических факторов для нужд железнодорожного транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гапанович В.А. Спутниковые технологии в инновационной стратегии ОАО «РЖД» // Автоматика, связь, информатика. - 2008. - № 9. - С. 2-4.
2. Демьянов В.В. Тенденции развития технологий GNSS и направления 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).109-90
3. Демьянов В. В., Халиманов Д. С., Федоров М. Э., Имарова О. Б. Оценка качества алгоритма контроля доступности WAAS в условиях умеренной геомагнитной бури. Информационно-управляющие системы, 2020, № 2, с. 46–59. doi:10.31799/1684-8853-2020-2-46-59
4. Радионавигационный план Российской Федерации: утверждён приказом Минпромторга России от 4 сентября 2019 г. № 3296. — М.: 2019. — 122 с.
5. А. И. Перов и В. Н. Харисова // ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования. - Радиотехника, Москва, 2010 – 800 с.
6. Wide-Area Augmentation System Performance Analysis Report, July 2006, доступно на <http://www.nstb.tc.faa.gov/REPORTS/waaspan17.pdf>
7. Интерфейсный контрольный документ. Радиосигналы и состав цифровой информации функционального дополнения системы ГЛОНАСС. Системы Дифференциальной Коррекции и Мониторинга (редакция 1). Роскосмос, 2012 – 132 с.
8. Руководство по глобальной навигационной спутниковой системе(GNSS), ИКАО, Издание второе, 2013 – 100 с.
9. SARPS Amendment 91, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunications: International Standards and Recommended Practices, Volume 1, Radio Navigation Aids, July, 2006
10. Rinex data. <http://lox.ucsd.edu/pub/rinex/2015>

REFERENCES

1. Gapanovich V.A. Sputnikovye tekhnologii v innovatsionnoy strategii OAO «RZhD» [Satellite technologies in the innovation strategy of JSC "Russian Railways"] // Avtomatika, Svyaz, informatika [Automation, Communications, Informatics]. - 2008. - № 9. - P. 2-4.
2. Demyanov V. V., Imarova O. B. Trends in the development of GNSS technologies and directions of their application in transport. Modern Technologies. System Analysis. Modeling, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 82–90 (In Russian). doi:10.26731/1813-9108.2018.2(58).109-90
3. Demyanov V. V., Khalimanov D. S., Fedorov M. E., Imarova O. B. Evaluating the quality of WAAS availability control algorithm under geomagnetic storm conditions. Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy [Information and Control Systems], 2020, no. 2, pp. 46–59 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2020-2-46-59

4. Radionavigatsionnyy plan Rossiyskoy Federatsii: utverzhdon prikazom Minpromtorga Rossii ot 4 sentyabrya 2019 г. № 3296 [Radio navigation plan of the Russian Federation: approved by order of the Ministry of Industry and Trade of Russia dated September 4, 2019 No. 3296], 2019, pp. 122.

5. A. I. Perov i V. N. Kharisova // GLONASS: printsipy postroeniya i funktsionirovaniya [GLONASS: principles of construction and operation], - Radio engineering, Moscow, 2010- pp 800.

6. Wide-Area Augmentation System Performance Analysis Report, July 2006, доступно на <http://www.nstb.tc.faa.gov/REPORTS/waaspan17.pdf>

7. Interfeysnyy kontrol'nyy dokument. Radiosignaly i sostav tsifrovoy informatsii funktsional'nogo dopolneniya sistemy GLONASS. Sistemy Differentsial'noy Korrek-tsii i Monitoringa [Interface control document. Radio signals and the composition of digital information of the GLONASS functional Supplement. Differential Correlation and Monitoring systems] (revision 1). Roscosmos, 2012- pp 132.

8. Rukovodstvo po global'noy navigatsionnoy sputnikovoy sisteme(GNSS) [Guide to the global navigation satellite system(GNSS)], ICAO, second Edition, 2013- pp 100.

9. SARPS Amendment 91, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunications: International Standards and Recommended Practices, Volume 1, Radio Navigation Aids, July, 2006

10. Rinex data. <http://lox.ucsd.edu/pub/rinex/2015>

Информация об авторах

Халиманов Данила Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dan_haliman@mail.ru

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;

Authors

Khalimanov Danila Sergeyevich – Ph. D. student, the Subdepartment of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: dan_haliman@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;

Для цитирования

Халиманов Д. С. Алгоритм контроля доступности навигационных определений ГНСС в составе координатной системы ИРДП [Электронный ресурс] / Д. С. Халиманов, В. В. Демьянов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №2. — Режим доступа: <http://mnv.irkgups.ru/toma/28-20>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.

For citation

Khalimanov D.S., Dem'yanov V.V. *Algoritm kontrolya dostupnosti navigatsionnykh opredeleniy GNSS v sostave koordinatnoy sistemy IRDP* [Availability control algorithm of navigation definitions of GNSS in the composition of the IRDP]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyy zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 2.