

Р.А. Жамсаранова, В.А. Алексеенко

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

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГНСС В ЛОКОМОТИВНЫХ СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Аннотация: В статье рассматривается роль спутниковой навигации в обеспечении безопасности движения на железнодорожном транспорте. Приведены основные характеристики систем обеспечения безопасности движения на подвижном составе. В условиях усложнения транспортных процессов, надежные системы безопасности становятся необходимыми для предотвращения аварий и повышения эффективности управления движением поездов. В заключение, подчеркивается высокая эффективность применения ГНСС как средства повышения безопасности движения поездов, оптимизации процессов управления и мониторинга на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: безопасность движения, спутниковая навигация, системы обеспечения безопасности, оценка эффективности.

R.A. Zhamsaranova, V.A. Alekseenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF THE USE OF GNSS TECHNOLOGIES IN LOCOMOTIVE TRAFFIC SAFETY SYSTEMS

Abstract: The article examines the role of satellite navigation in ensuring traffic safety in railway transport. The main characteristics of traffic safety systems on rolling stock are given. In conditions of increasing complexity of transport processes, reliable safety systems are becoming necessary to prevent accidents and improve the efficiency of train traffic management. In conclusion, the high effectiveness of the use of GNSS as a means of improving train safety, optimizing management and monitoring processes in railway transport is emphasized.

Key words: traffic safety, satellite navigation, safety management systems, efficiency assessment.

Введение. Безопасность движения поездов является главным фактором для обеспечения непрерывной работы железнодорожного транспорта. В настоящее время на железнодорожной сети увеличивается интенсивность движения, что ещё в большей степени повышает требования к системам обеспечения безопасности. Традиционные методы, основанные на наземной инфраструктуре, хотя и эффективны, часто ограничены в масштабируемости и гибкости. Поэтому актуальность использования современных систем обеспечения безопасности движения на основе спутниковой навигации неуклонно возрастает. За счет внедрения спутниковых навигационных технологий предоставляется возможность реализации многоуровневой системы комплексной безопасности. Применение систем спутниковой связи позволяет ОАО «РЖД» обеспечить требуемое железным дорогам оперативное получение информации, необходимой для принятия соответствующих управленческих решений и реализации мероприятий по уменьшению рисков возникновения и предотвращению последствий ликвидации аварийных ситуаций и сбоев в графике движения поездов [1-3].

Перечень современных систем обеспечения безопасности движения на сегодняшний день довольно обширен:

- автоматическая локомотивная сигнализация АЛС (АЛС-ЕН, АЛС-Р, ГАЛС-Р);
- комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У;
- системы автоматического управления торможением поезда САУТ (САУТ-ЦМ/НСП);

- телемеханическая система бодрствования машиниста ТСКБМ;
- универсальная система автоматического ведения пассажирского поезда УСАВП;
- безопасный локомотивный объединенный комплекс БЛОК;
- микропроцессорная система управления и диагностики МСУД;
- интеллектуальная система автоматизированного вождения поездов ИСАВП-РТ;
- маневровая автоматическая локомотивная сигнализация МАЛС;
- системы дистанционного управления маневровым локомотивом СДУ МЛ и MSR32.

В рамках данной работы была выполнена оценка эффективности применения спутниковых технологий в составе современных локомотивных систем обеспечения безопасности движения.

Была выполнена группировка современных систем обеспечения безопасности движения по их основному функциональному назначению. Классификация бортовых локомотивных систем представлена на рисунке 1.

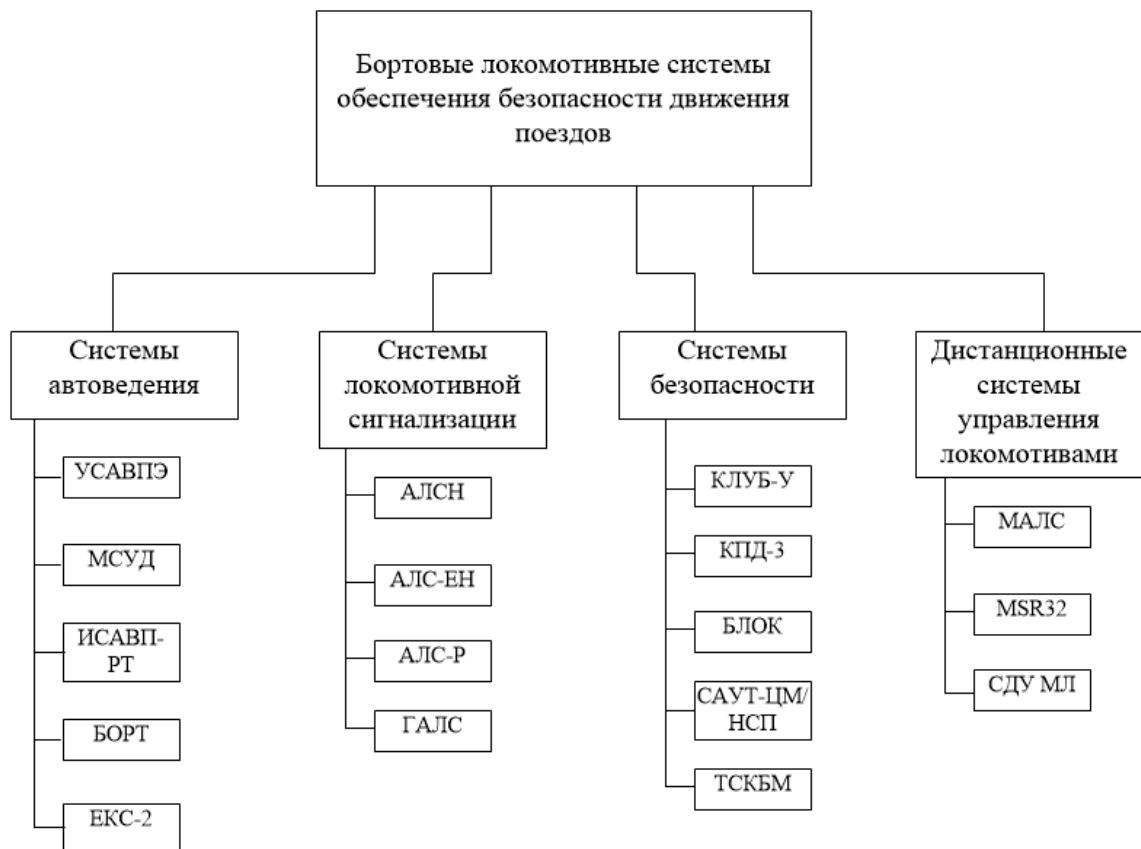


Рис.1.Классификация бортовых локомотивных систем ОБД

Также в ходе работы были определены способы определения местоположения подвижного состава при помощи бортовой аппаратуры:

- по датчикам системы САИПС (САИ «Пальма»);
- по сигналам рельсовых цепей;
- на основе точечного радиоканала;
- по сигналам балис (бализ);
- на основе цифрового радиоканала;
- по встроенной электронной маршрутной режимной карте;
- с помощью датчиков пути и скорости (ДПС).

К системам, в которых для определения местоположения подвижной единицы используются антенны глобальной навигационной спутниковой системы, можно отнести УСАВПЭ, МСУД, ИСАВП-РТ, БОРТ, ЕКС-2, АЛС-Р, БЛОК, МАЛС.

Система обеспечения безопасности движения УСАВПЭ (Управление Системой Автоматического Вождения Поездов и Элементов) является одной из современных технологий, направленных на повышение безопасности и эффективности движения поездов и включает в себя автоматизацию процессов управления движением, мониторинга состояния подвижного состава. предназначена для автоматизированного управления пригородных электропоездов всех модификаций с целью точного соблюдения времени хода, задаваемого графиком или другим нормативным документом, на основе выбора режима движения, при котором потребляется минимально необходимое для выполнения графика движения количество энергии [4].

Микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД) предназначена для управления тяговым приводом (электровоза переменного тока с коллекторными двигателями) и аппаратами цепей управления электровоза. Аппаратура МСУД электрооборудования электровоза построена на программных принципах обработки информации, поступающей от датчиков тока, скорости, углов коммутации, датчиков тока и скорости, а также ряда дискретных сигналов состояния оборудования электровоза [5-7].

Система ИСАВП-РТ предназначена для автоматизированного управления магистральными электровозами при ведении одиночного или соединенного поезда. Система обеспечивает автоматизированное управление тягой и рекуперативным тормозом через систему управления электровоза, а также автоматическим тормозом поезда через модуль тормозного оборудования, с целью точного соблюдения времени хода, задаваемого графиком движения или другими нормативными документами, на основе выбора энергетически рационального режима движения. Она также предназначена для выдачи локомотивной бригаде предупреждающей звуковой (речевой) и вспомогательной визуальной информации [8].

Главной функцией локомотивной системы безопасности БОРТ является остановка подвижного состава посредством гарантированного снятия питания с электропневматического клапана (ЭПК) локомотива в случае возникновения опасных ситуаций. Различные модификации данной системы позволяют решать широкий спектр задач, связанных с движением поездов, как по участкам на основе рельсовых цепей, так и по участкам, оборудованным RBC и бализами с безостановочным проследованием границы таких участков [9].

В рамках многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности создана единая комплексная система (ЕКС) управления и обеспечения безопасности движения на подвижном составе. Система обеспечивает автоматизированное управление тягой и тормозами, гарантирующее соблюдение графика и безопасность движения; автоматическую отработку режимов нештатных и опасных ситуаций; продление устойчивого работоспособного состояния машиниста и снижение его нагрузки, что уменьшает вероятность появления ошибки при управлении [10].

Система интервального регулирования движения поездов с использованием радиоканала предназначена для обеспечения безопасности движения, увеличения участковой скорости и пропускной способности перегонов за счет снижения числа сбоев кодирования, оптимизации скоростных режимов и интервалов попутного следования. Система АЛС-Р решает две основные задачи информационного обеспечения: непрерывно отслеживает местоположение поезда и передает информацию о поездной ситуации и команды телеуправления на локомотив [11].

Выбранные системы были проанализированы по основному функционалу и применяемым способам определения местоположения подвижного состава. Анализ систем ОБД представлен в таблице 1.

Таблица 1. Анализ систем обеспечения безопасности движения

Система ОБД	Основные функции	Определение местоположения
УСАВПЭ	- расчет параметров движения поезда и управляющих воздействий в реальном времени; - управление тягой и торможением поезда; - контроль исправности аппаратуры автоведения и тягового подвижного состава.	Антенна ГНСС (опционально); электронная режимная карта (ЭРК); датчики ДПС.
МСУД	- разгон электровоза до заданной скорости; - рекуперативное торможение до заданной скорости с последующим автоматическим поддержанием заданной скорости на спусках.	Антенна ГНСС (опционально); датчики ДПС.
БЛОК	- автоматизация расшифровки показаний датчиков; - измерение фактической скорости и ее отображение; - определение, индикация, регистрация основных параметров движения поезда.	Совмещённая антенна GSM/GSM-R/ГНСС; датчики ДПС.
ЕКС-2	- автоматизированное управление движением поезда; - остановка поезда перед запрещающим сигналом и отправление под запрещающий сигнал по командам, принятым по радиоканалу в зоне станций.	Устройство коррекции линейной координаты ПС; датчики ДПС; антенна ГНСС (опционально)
ИСАВП-РТ	- расчет рационального по расходу электроэнергии режима ведения поезда, исходя из предусмотренного графиком движения; - определение необходимой скорости движения поезда для выполнения расчетного времени хода, на участках приближения к сигналам	Антенны цифрового радиоканала (ЦРК); датчики ДПС (опционально)
БОРТ	- контроль исправности аппаратуры автоведения и тягового подвижного состава. - управление тягой и торможением поезда; - определение, индикация, регистрация основных параметров движения поезда.	Антенна балис (бализ) или антенна ГНСС
МАЛС	- контроль месторасположения, а также параметров перемещения маневрового локомотива; - маневровая работа по маршрутам в области ЭЦ.	Антенна ГНСС (ГЛОНАСС/GPS)
АЛС-Р	- предотвращение проезда запрещающих сигналов и столкновения; - передача показаний светофоров в кабину машиниста; - автоматическое регулирование движения.	Антенна ГНСС; антенны ЦРК; антенны точечного радиоканала

Разработчики некоторых систем полагаются только на какой-либо один способ определения местоположения подвижного состава (например, БОРТ на сигналы балис, а МАЛС – на сигналы ГНСС). В других же системах предусмотрено получение данной информации из нескольких источников (например, в системе БЛОК – это антенна ГНСС, датчики пути и скорости).

На основе анализа научных публикаций и отзывов работников железнодорожного транспорта была выполнена оценка систем обеспечения безопасности движения (по шкале от 1 до 10 баллов), результаты которой отражены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка систем обеспечения безопасности движения

Система ОБД	Способ определения местоположения					Качество определения местоположения
	ГНСС	Балиса	ЦРК	ДПС	ЭРК/УКЛНП	
МАЛС	+	-	-	-	-	4
ИСАВП-РТ	-	-	+	+/-	-	5
БОРТ	?	?	-	-	-	4
АЛС-Р	+	-	+	-	-	6
УСАВПЭ	+/-	-	-	+	+	7
МСУД	+/-	-	-	+	+	8
БЛОК	+	-	-	+	-	6
ЕКС-2	+/-	-	-	+	+	8

Примечания: «+» – данное средство применяется в системе ОБД; «-» – данное средство не применяется в системе ОБД; «?» - данное средство применяется в системе ОБД в зависимости от комплектации.

По результатам оценки можно сделать следующие выводы: применение только одного источника данных о местоположении подвижного состава существенно ограничивает распространение систем обеспечения безопасности движения.

Наилучший результат показывают системы, в которых сигналы ГНСС дополняются сигналами датчиков пути и скорости, а также электронными режимными картами.

Применение только сигналов ГНСС для этих задач затруднительно из-за следующих недостатков:

- ограничения в приёме сигналов из-за препятствий;
- эффект многолучевого распространения сигнала;
- неблагоприятная геометрия расположения спутников;
- высокая стоимость оборудования и его обслуживания;
- сложность создания инфраструктуры дифференциальной подсистемы ГНСС на протяжённых участках дороги.

Заключение. Применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в обеспечении безопасности движения поездов не только позволяет повысить точность определения местоположения подвижного состава, обеспечивая более эффективный мониторинг и управление движением, но и способствует созданию интеллектуальных систем, способных анализировать данные в режиме реального времени и принимать решения, предотвращающие возможные аварийные ситуации [12]. В заключении можно отметить, что определение местоположения подвижного состава является ключевой функцией в работе систем автоведения и других систем обеспечения безопасности движения. Для повышения точности дислокации подвижного состава наиболее приемлемым вариантом является комбинированное использование различных источников информации о его местоположении. Кроме того, для повышения качества применения технологий ГНСС в обеспечении безопасности движения на железнодорожном транспорте необходимо проводить масштабные научные исследования и технические эксперименты. В дальнейшем целесообразно поставить задачу создания цифровых двойников устройств определения местоположения подвижного состава для повышения эффективности систем обеспечения безопасности движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «АВП Технология» - Документы [Электронный ресурс] - URL: <https://www.avpt.ru/docs/> (Дата обращения 30.04.2025г.).
2. Безопасность России : Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок "Безопасность железнодорожного транспорта" / В. А. Акимов, В. А. Алексеенко, Р. С. Ахметханов [и др.]. – Москва : Международный гуманитарный общественный фонд "Знание" им. академика К.В. Фролова, 2014. – 856 с. – ISBN 978-5-87633-127-4. – EDN TPMIVT.
3. Пуляков, А. В. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации / А. В. Пуляков, М. Э. Скоробогатов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 1(57). – С. 79-89. – DOI 10.26731/1813-9108.2018.1(57).79-89. – EDN YUZFVY.
4. Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики электроваза [Электронный ресурс] - URL: https://cloud.cta.ru/iblock/58d/5_8dcccba1_308d4f163d01cf10b09eb7/366687.pdf (Дата обращения 25.04.2025г.).
5. Демьянов, В. В. Спутниковая навигация для интервального регулирования движения поездов / В. В. Демьянов, Д. Д. Логинов, О. Б. Имарова // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 3. – С. 28-31. – DOI 10.34649/AT.2021.3.3.004. – EDN AIAWVP.
6. Спутниковые технологии на железных дорогах России / О. В. Тони [и др.] ; под ред. В. И. Якунина. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Дизайн. Информация. Картография, 2008. – 135 с. – (Инновационные технологии на железнодорожном транспорте). – ISBN 978-5-287-00643-3. – EDN QNVPTP.
7. Щербаков, В. В. Применение глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС на скоростных железнодорожных магистралях // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2008. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-globalnyh-navigatsionnyh-sputnikovyh-sistem-gnss-na-skorostnyh-zheleznodorozhnyh-magistralyah> (дата обращения: 22.05.2025).
8. Куанышев, Б. М. Универсальная локомотивная система безопасности "Борт" / Б. М. Куанышев, В. В. Татарин, В. Л. Нарышкин // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2016. – № 3(98). – С. 109-112. – EDN YPLNWT.
9. Мугинштейн, Л. А. ИСАВП - РТ: новая технология грузовых перевозок / Л. А. Мугинштейн, А. М. Кривой // Локомотив. – 2004. – № 10. – С. 9-10. – EDN TZPARX.
10. Патент на полезную модель № 72926 U1 Российская Федерация, МПК B61L 3/00, B60T 8/72. Единая комплексная система управления и обеспечения безопасности движения тягового подвижного состава (ЕКС) : № 2007140488/22 : заявл. 01.11.2007 : опубл. 10.05.2008 / В. М. Абрамов, А. С. Архипов, А. М. Вайгель [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество "Российские железные дороги" (ОАО "РЖД"). – EDN EKZKTJ.
11. Система управления движением локомотивов с использованием ГЛОНАСС/ GPS [Электронный ресурс]- URL: <https://www.fastwel.ru/upload/iblock/1a4/447067.pdf> (Дата обращения 13.05.2025г.).
12. Avt7.p65 [Электронный ресурс] - URL: <https://www.npcprom.ru/sites/default/files/kcfinder/documents/alsasi.pdf> (Дата обращения 21.05.2025г.).

REFERENCES

1. «AVP Technologiya» – Documents [Electronic resource] - URL: <https://www.avpt.ru/docs/> (Accessed 30.04.2025).
2. Russia's Security: Legal, Socio-Economic, Scientific and Technical Aspects. Thematic Block "Railway Transport Safety" / V. A. Akimov, V. A. Alekseenko, R. S. Akhmetkhanov [et al.]. – Moscow: International Humanitarian Public Foundation "Knowledge" named after Academician K. V. Frolov, 2014. – 856 p. – ISBN 978-5-87633-127-4. – EDN TPMIVT.
3. Pulyakov, A. V. Systems analysis of the stability of automatic locomotive signaling systems / A. V. Pulyakov, M. E. Skorobogatov // Modern technologies. Systems analysis.

Modeling. - 2018. - No. 1 (57). - P. 79-89. - DOI 10.26731 / 1813-9108.2018.1 (57). 79-89. - EDN YUZSFY.

4. The equipment of the microprocessor control system and diagnostics of an electric locomotive [Electronic resource] - URL: https://cloud.cta.ru/iblock/58d/5_8dccbaf1308d4f163d01cf10b09eb7/366687.pdf (Accessed 04/25/2025).

5. Demyanov, V. V. Satellite navigation for interval control of train traffic / V. V. Demyanov, D. D. Loginov, O. B. Imarova // Automation, communication, informatics. - 2021. - No. 3. - P. 28-31. - DOI 10.34649 / AT.2021.3.3.004. - EDN AIAWVP.

6. Satellite technologies on Russian railways / O. V. Tony [et al.]; edited by V. I. Yakunin. – [2nd ed., revised and enlarged]. – Moscow: Design. Information. Cartography, 2008. – 135 p. – (Innovative technologies in railway transport). – ISBN 978-5-287-00643-3. – EDN QNVPTP.

7. Shcherbakov, V. V. Application of global navigation satellite GNSS systems on high-speed railway lines // Transport of the Russian Federation. A journal about science, practice, and economics. 2008. no. S. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-globalnyh-navigatsionnyh-sputnikovyh-sistem-gnss-na-skorostnyh-zheleznodorozhnyh-magistralyah> (date of request: 05/22/2025).

8. Kuanyshev, B. M. Universal locomotive safety system "Board" / B. M. Kuanyshev, V. V. Tatarinov, V. L. Naryshkin // Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev. – 2016. – № 3(98). – Pp. 109-112. – EDN YPLNWT.

9. Muginstein, L. A. ISAVP - RT: a new technology of freight transportation / L. A. Muginstein, A.M. Krivnoy // Locomotive. – 2004. – № 10. – pp. 9-10. – EDN TZPARX.

10. Utility Model Patent No. 72926 U1 Russian Federation, IPC B61L 3/00, B60T 8/72. Unified Integrated Management and Safety System for Traction Rolling Stock (CEC) : No. 2007140488/22 : application No. 01.11.2007 : published on 05/10/2008 / V. M. Abramov, A. S. Arkhipov, A.M. Vaigel [et al.] ; applicant Open Joint Stock Company Russian Railways (JSC Russian Railways). – EDN EKZKTJ.

11. Locomotive motion control system using GLONASS/GPS [Electronic resource]- URL: <https://www.fastwel.ru/upload/iblock/1a4/447067.pdf> (Accessed 13.05.2025).

12. Avt7.p65 [Electronic resource] - URL: <https://www.npcprom.ru/sites/default/files/kcfinder/documents/alsasi.pdf> (Accessed 05/21/2025).

Информация об авторах

Жамсаранова Раджана Алексеевна – студентка группы СОД.4-22-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: radzhanazh@mail.ru;

Алексеев Владимир Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bezvoprosov03@mail.ru

Authors

Zhamsaranova Radzhana Alekseevna – student of group SOD.4-22-1, Faculty of Transport Support Systems Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: radzhanazh@mail.ru;

Alekseenko Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Automation, Telemechanics and Communications», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bezvoprosov03@mail.ru