

УДК 656.052.1

*В.В. Демьянов, Д.С. Халиманов, О.Е. Терскова*

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

## **О ПРОБЛЕМЕ ВНЕДРЕНИЯ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ В СОСТАВ КОМПЛЕКСОВ ИРДП НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Аннотация.** Все более востребованной становится задача сокращения межпоездного интервала движения и обеспечения безопасности. Для решения этой задачи используются различные, по своему принципу работы, системы и комплексы. Наибольшее распространение в этой отрасли получают системы спутниковой навигации, которые являются частью вновь внедряемых систем. Однако из-за жестких требований к точности местоопределения не возможен переход к средствам спутниковой навигации, как к основным системам интервального регулирования движения поездов, а следовательно отказ от напольной аппаратуры. В связи с этим, системы спутниковой навигации применяются в настоящее время, не как основное средство интервального регулирования движения поездов (далее ИРДП) или автоматического торможения, а как составная часть комплексных систем обеспечения безопасности движения поездов. В дальнейшем внедрение в полном объеме систем спутниковой навигации в комплексные системы интервального регулирования движения поездов позволит автоматизировать процесс регулирования скорости движения поезда, сократить количество напольных устройств на перегоне, а также даст возможность постоянного контроля дислокации вагонно-локомотивного парка.

**Ключевые слова:** спутниковая навигация, интервальное регулирование движения поездов, ГЛОНАСС/GPS, КЛУБ–У, ИТАРУС–АТС.

*V. V. Dem'yanov, D.S. Khalimanov, O.E. Terskova*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

## **ON THE ISSUE OF INTRODUCTION OF SATELLITE NAVIGATION EQUIPMENT IN THE COMPOSITION OF THE COMPLEXES IRDP ON RAILWAY TRANSPORT**

**Abstract.** The task of reducing the inter-train traffic interval and ensuring security is becoming increasingly in demand. For the decision of this task various systems and complexes, by the principle of work, are used. The most widespread in this industry are satellite navigation systems, which are part of the newly introduced systems. However, due to stringent requirements for accuracy, it is not possible to switch to satellite navigation aids, as to the basic systems of interval control of train movement, and therefore the abandonment of outdoor equipment is impossible. In this regard, satellite navigation systems are currently used, not as the main means of DPS or automatic braking, but as an integral part of complex train traffic safety systems. In the future, the introduction of satellite navigation systems in full into complex systems of interval train control will automate the process of reducing and controlling train speed, reduce the number of floor devices on the stretch, increase throughput, and also enable continuous monitoring of the location of the car-locomotive fleet.

**Keywords:** satellite navigation, interval control of driving movements, GLONASS/GPS, CLUB–Y, ITARUS–ATC.

В настоящее время процессы глобализации, изменения мировых связей ставят перед Россией задачу рационального использования потенциала экономико-географического положения. Эффективная реализация транзитного потенциала позволит не только получить экономический эффект от участия в международных перевозках, но и создаст новые инструменты влияния России на мировые экономические процессы, а также на установление долгосрочных экономических связей.

Россия имеет ряд преимуществ в своем транспортно-географическом положении и на межрегиональном уровне: через ее территорию осуществляются транспортные связи между большинством Европейских стран, со странами Центральной Азии, Закавказья и Среднего Востока. При этом территория России является весьма удобным и, в настоящее время, без-

альтернативным транспортным коридором для железнодорожных перевозок больших объемов грузов через Евразийский континент.

Ведущее положение железных дорог в международной транспортной системе определяется их возможностью осуществлять круглогодичное регулярное движение, перевозить основную часть потоков массовых грузов и обеспечивать мобильность трудовых ресурсов. Особое значение железных дорог определяется также большими расстояниями перевозок, слабым развитием коммуникаций других видов транспорта в регионах Сибири и Дальнего Востока, удаленностью мест производства основных сырьевых ресурсов от пунктов их потребления и морских портов.

Одним из основных условий для поддержания лидирующего положения ОАО "Российские Железные Дороги" (далее РЖД) как в России, так и за рубежом является включение железных дорог России в международную транспортную систему на равных основаниях с другими участниками. Это, в свою очередь, предполагает внедрение инновационных технологий для обеспечения высокоскоростного движения, автоматизации ИРДП, контроля дислокации вагонно-локомотивного парка, ремонтной спецтехники и путевых бригад и т.д. Одной из инновационных технологий, которые позволят реализовать указанные выше функции без больших капитальных вложений на переоснащение инфраструктуры РЖД, являются технологии спутниковой навигации.

В рамках текущей государственной стратегии на развитие РЖД принят ряд нормативных актов и документов, которые нацелены на широкое внедрение средств спутниковой навигации на отечественном железнодорожном транспорте, а именно:

– Указ Президента Российской Федерации от 17 мая 2007 г. №638 "Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации";

– Постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. №641 "Об оснащении транспортных технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS";

– "Стратегические направления научно-технического развития ОАО "РЖД" на период до 2015 г. (Белая книга ОАО "РЖД")", утвержденные президентом ОАО "РЖД" 3.08.2007 г. №964;

– "Программа мер по обеспечению надежности железнодорожной инфраструктуры ОАО "РЖД", утвержденная 30.07.2007 г. №933;

– "Концепция повышения безопасности движения на основе применения на железных дорогах многофункциональных комплексных систем регулирования движения поездов" утвержденная 12.05.2006 г. №618.

Одним из направлений внедрения технологий спутниковой навигации на отечественных железных дорогах является построение комплексных систем ИРДП и контроля безопасности движения. Данные системы предназначены для решения следующих задач железнодорожного транспорта:

- автоматизация процесса снижения и регулирования скорости движения поезда;
- уменьшение количества напольных устройств на перегоне;
- увеличение пропускной способности участков железных дорог;
- контроль дислокации вагонно-локомотивного парка.

Комплексное решение этих задач приведет к снижению совокупных транспортных издержек за счет повышения эффективности работы железнодорожного транспорта и снижения эксплуатационно-технических затрат на оборудование, реконструкцию и обслуживание устройств автоматики (далее АТ).

Основой для оценки возможностей СРНС при использовании в указанном направлении являются требуемые навигационные характеристики (ТНХ) СРНС. Основными ТНХ являются: точность определения местоположения, доступность, целостность и рабочая зона. Из перечисленных характеристик основное внимание уделяется точности позиционирования подвижного состава и объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Конкретные

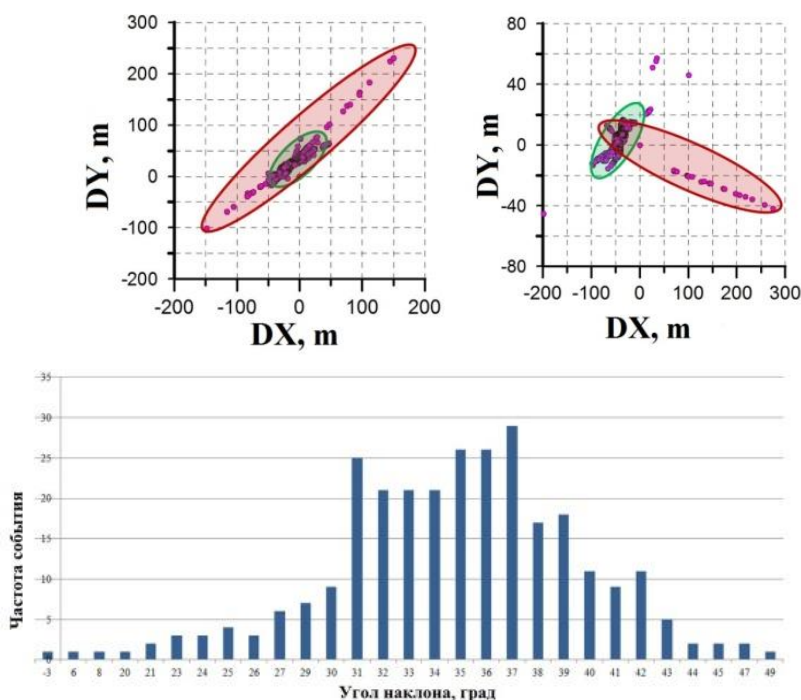
ТНХ зависят от задачи или класса задач, решаемых с использованием СРНС. В частности можно привести ТНХ при решении некоторых типовых задач железнодорожного транспорта:

- мониторинг дислокации и параметров движения подвижных средств. Точность позиционирования подвижных средств должна быть не хуже  $\sigma \leq 10-15$  м;
- автоматизированное управление движением и обеспечение безопасности движения поездов. Точность позиционирования подвижных средств должна быть не хуже  $\sigma \leq 1$  м;
- контроль состояния объектов инфраструктуры и отдельных её элементов, а также выполнение изыскательных работ - не более 0,001 м.

Эти требования соответствуют нормативам, принятым в ЕС на железнодорожном транспорте.

Как можно убедиться, существуют весьма жесткие ТНХ, которые требуется удовлетворить при переходе к аппаратуре СРНС, как основному средству автоведения и контроля дислокации поездов, в составе технического комплекса ИРДП. В настоящее время это является главным препятствием к принятию решения об отказе от напольных устройств и традиционных способов ИРДП и автоматического регулирования скорости движения. В частности, известно, что точность позиционирования объектов по сигналам СРНС носит плохо предсказуемый характер. Погрешность местоопределения может изменяться достаточно резко на небольшом интервале времени. При этом меняется не только величина погрешности местоположения, но и угловая ориентация эллипса рассеивания погрешности на плоскости.

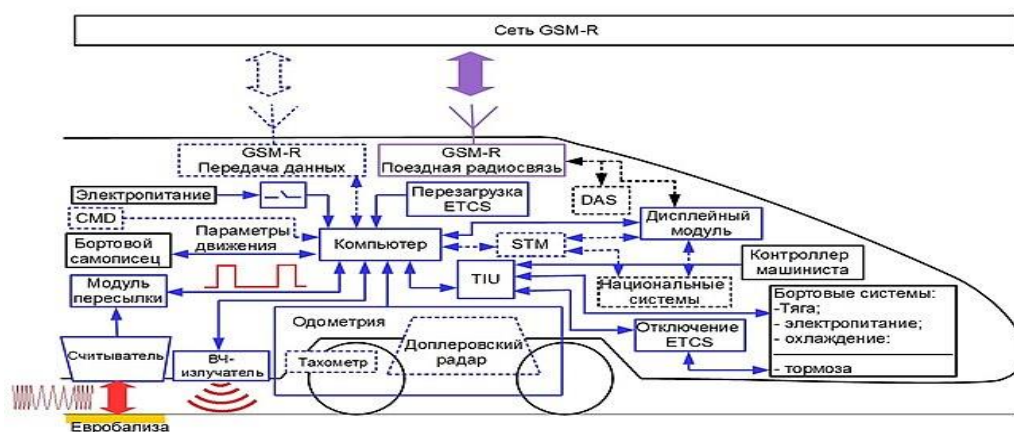
Примеры указанных явлений представлены на рисунке 1. Эти результаты получены путем обработки набора суточных измерений радионавигационных параметров, полученных на двух станциях, оборудованных навигационной аппаратурой GPS типа Trimble, в составе сети станций геодинимического мониторинга в Японии. Измерения проведены в условиях слабого геомагнитного возмущения 15 февраля 2011 г. с шагом измерений 30 секунд. На рисунке 1 приведены мгновенные значения абсолютной погрешности прямоугольных геоцентрических координат в плоскости X-Y (два верхние панели) и гистограмма частот распределения наблюдаемого угла наклона большой полуоси эллипса рассеивания погрешностей в той же плоскости (нижняя панель). Гистограмма представлена по результатам обработки измерений на обеих станциях.



**Рис. 1. Пример наблюдаемых погрешностей позиционирования и ориентации угла наклона эллипса рассеивания погрешностей позиционирования**

Как можно убедиться, в большинстве случаев выдерживаются типовые значения погрешности в режиме стандартной точности в пределах 15–25 м. Вместе с тем, имеется заметная вероятность появления больших выбросов погрешностей позиционирования до 100–200 м, что является неприемлемым для решения задач автоматизированного управления движением на железнодорожном транспорте. Кроме этого можно видеть, что и угловая ориентация большой полуоси эллипса рассеивания погрешностей позиционирования не является стабильной во времени. В приведенном примере, угол наклона оси может изменяться в значительных пределах от  $-3$  до  $50^\circ$ . Этот фактор может дополнительно усугубить последствия ухудшения точности позиционирования подвижного состава, если продольная ось эллипса рассеивания окажется ориентированной не поперек, а вдоль главной оси пути.

В связи с этим, системы спутниковой навигации применяются в настоящее время, не как основное средство ИРДП или автоматического торможения, а как составная часть комплексных систем обеспечения безопасности движения поездов. Так, на железных дорогах Европы и других стран мира в соответствии с требованиями Международного союза железных дорог (МСЖД) активно внедряется система управления и обеспечения безопасности движения поездов ERTMS (European Rail Traffic Management System). Для определения местоположения и контроля проследования в ERTMS используются точечные напольные приемопередатчики (евробализы). Структурная схема системы ERTMS приведена на рисунке 2 [7].



**Рис. 2. Структурная схема системы ERTMS**

Евробализы на пути автономны, имеют точную геодезическую привязку к путевой ординате, собственную метку идентификатора на цифровой карте пути являются электронными маркерами местоположения и скорости движения поезда. Соотнесение ординаты евробализы и текущей ординаты поезда выполняется на основе цифровой карты пути, занесенной в бортовой компьютер. Момент проследования поездом мимо евробализы фиксируется с помощью бортового оборудования, оно излучает высокочастотный сигнал, с помощью которого обеспечивает электропитанием непосредственно саму евробализу, принимает и дешифрирует всю необходимую информацию. Таким образом, на борту локомотива фиксируются данные о географических координатах, постоянных ограничениях скорости.

Информация о текущей ординате и скорости движения поезда передается в центр управления движением. В центре на основании этой информации определяется допустимая участковая скорость для данного поезда, которая сообщается вместе с характеристиками пути обратно на локомотив. На российских дорогах евробализы не применяются из-за высокой стоимости установки.

Как альтернативу системам напольных устройств и датчиков (рельсовых цепей, путевых шлейфов, евробализ и т. п.) можно рассмотреть вариант использования аппаратуры спутниковой навигации—как средства для высокоточного определения путевой ординаты и

скорости подвижного состава. При этом важно отметить, что в данном случае не потребуется установка напольных устройств.

Первой комплексной системой локомотивной безопасности и автоведения поездов на железных дорогах России, в которой применен способ определения местоположения поезда с помощью спутникового навигационного приемника, стало комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ–У [5]. В дальнейшем процессе научно-технического развития, появились более современные модификации указанной системы типа КЛУБ–УП, БЛОК [5]. Кроме этого предложены технические решения по реализации технологии автоведения поездов с использованием аппаратуры спутниковой навигации типа «виртуальный светфор–подвижный блок-участок». Эта технология реализована, в частности, в отечественных интегрированных системах ИРДП типа АБТЦ–М [5].

Принцип работы спутниковой навигационной системы в составе комплекса КЛУБ заключается в следующем. Сигналы навигационных спутников принимаются антенной спутниковой навигации и поступают на приемник. Приемник по спутниковым сигналам определяет географические координаты (широту и долготу), астрономическое время и скорость движения поезда. Эта информация поступает в блок электронной карты, где преобразуется в информацию о железнодорожных координатах (киллометро-пикеты), локальное (или гринвичское) время и фактическую скорость. Данная информация сопоставляется с привязанными к цифровой карте пути объектами инфраструктуры, особенностями плана и профиля пути. На основании данной информации в блоке коммутации и регистрации (далее БКР) формируется рекомендованная программа автоматического снижения скорости.

Предложенная технология использования аппаратуры спутниковой навигации в составе комплексных систем ИРДП получила развитие в совместном проекте России (ОАО «НИИАС») и Италии (Ansaldo STS) по созданию системы регулирования и обеспечения безопасности движения поездов ITARUS–ATC [7].

Система ITARUS–ATC состоит из:

- системы автоблокировки, предназначенной для интервального регулирования движением поездов на перегонах;
- системы электрической централизации станции;
- центра радиоблокировки RBC;
- комплексного локомотивного устройства безопасности КЛУБ–У;
- блока AIRBS для реализации стека протоколов Euroradio;
- сети радиосвязи стандарта GSM–R.

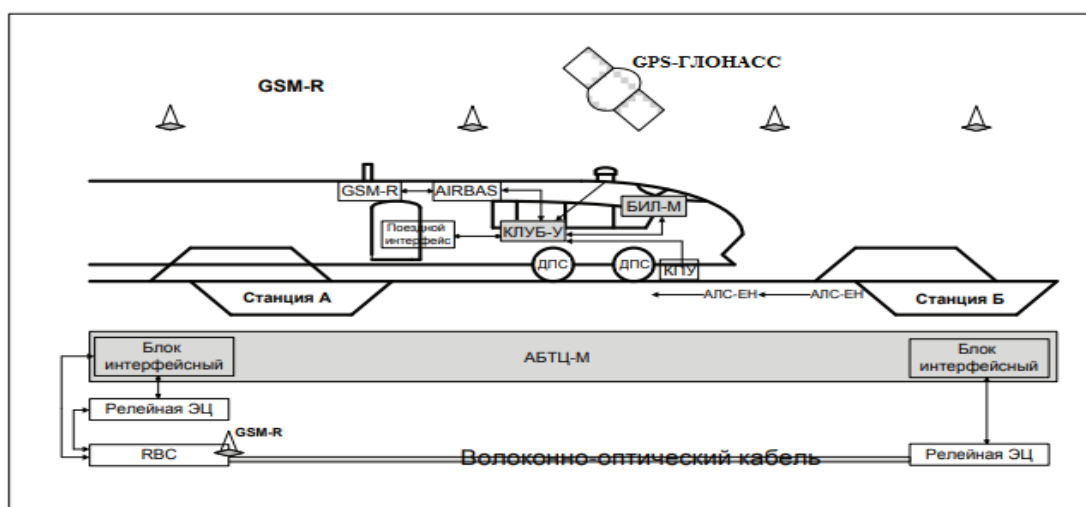


Рис. 3. Структурная схема системы ITARUS–ATC

Локомотивное устройство безопасности КЛУБ–У определяет скорость и местоположение локомотива путем комплексирования данных от спутниковых навигационных приемников GPS–ГЛОНАСС и осевых датчиков скорости. В случае превышения путевой скорости над критическим уровнем происходит автоматическое снижение скорости. В составе комплекса используются также устройства приема и обработки сигналов от путевых устройств автоматической локомотивной сигнализации, что позволяет контролировать свободу участков пути.

Техническое оснащение системы спутниковой навигации ITARUS–АТС позволяет повысить уровень безопасности движения поездов, как на станциях, так и на перегонах путем сокращения использования человеческого фактора в сборе и обработке информации, точного определения координат местоположения подвижного состава. При этом возможна реализация принципа интервального регулирования поездов по технологии подвижной блок–участок.

Основными преимуществами создаваемой российско-итальянской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов ITARUS–АТС являются следующие:

- применение спутниковой навигации для определения местоположения поездов на участках, оборудованных системой ITARUS–АТС;

- использование российских технических средств железнодорожной автоматики, в частности системы автоблокировки АБТЦ–М и бортового оборудования КЛУБ–У, а также возможность использования других релейных или микропроцессорных систем автоматики;

- использование принципа работы системы ERTMS, в частности, радиоблокпоста RBC. Радиоблокпост осуществляет безопасное управление и контроль движения поездов по цифровому радиоканалу.

На первом этапе применения системы информация о параметрах движения поезда по радиоканалу поступает на станции, где дополняется к информации от существующих технических средств автоблокировки, электрической централизации и переездной сигнализации, повышая надежность, достоверность, безопасность и живучесть этих систем.

Разработчиками системы предполагается, что она позволит сокращать расходы на управление движением поездов, как на обычных, так и на высокоскоростных линиях, повысит безопасность железнодорожного транспорта, пропускную способность магистралей и обеспечит действие систем непрерывного автоматического ограждения и автоматического управления движением.

Дальнейшее развитие и внедрение комплексных систем интервального регулирования движения поездов позволит вывести перевозки на новый, более высокий уровень. Что благоприятно скажется на определении лидирующего положения компании на рынке транспортных услуг. Для этого требуется решение основных проблем, препятствующих на данный момент развитию этих систем, а именно:

1. Проведение дополнительных исследований статистически значимых оценок точности, целостности и доступности ТНХ ГЛОНАСС для всех классов задач, решаемых с помощью спутниковой навигации на жд транспорте;

2. Разработка методов контроля доступности ТНХ и целостности радионавигационного поля, предназначенных для использования в составе специализированного программно-алгоритмического обеспечения в системах жд транспорта;

3. Более глубокое комплексирование навигационной аппаратуры и датчиков навигационной информации в составе интегрированных систем ИРДП.

При последующем развитии современных систем ИРДП спутниковые навигационные системы должны более активно внедряться в уже существующие технические средства автоматизации процесса управления движением на железнодорожном транспорте. Это значительно повысит эффективность работы и прибыль, а также снизит себестоимость перевозок и эксплуатационные расходы, в особенности на малодейственных участках железных дорог.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ададунов А.С. Общие принципы работы системы ITARUS–АТС/ А.С. Ададунов, П.А. Попов// Автоматика, связь, информатика. – 2010. – №7. – С.9–10.
2. Шуклин А.С. Интервальное регулирование движения поездов с применением систем спутниковой [Электронный ресурс]// Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XXXIX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2(39).- URL: [http://sibac.info/archive/technic/2\(39\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/2(39).pdf) (дата обращения: 20.04.2019)
3. Гундаев И., Батраков А. Система управления движением локомотивов с использованием ГЛОНАСС / GPS // Современные технологии автоматизации. – 2012. – №3. – С. 40 – 44.
4. Попов П.А. Подсистема Евробализов/ А.С. Ададунов П.А. Попов// Автоматика, связь, информатика. – 2010. – №9. –С.14–15.
5. Астрахан В. И. Новые технологии повышения квалификации специалистов/ В. И. Астрахан// Автоматика, связь, информатика. – 2011. – №11. – С.20–22.
6. Тони О.В., Розенберг И.Н., Альтшулер Б.Ш., Сазонов Н.В, Сарматов У.Д., Тамаркин В.М. Спутниковые технологии на железных дорогах России. М. : Дизайн. Информатика. Картография, 2008. 136 с.
7. Иванов И.С. Сравнительный анализ спутниковых систем навигации ITARUS–АТС и ERTMS в обеспечении безопасности движения поездов на железных дорогах России / И.С. Иванов, В.В. Комаров// Перспектива: сб. науч. тр.студентов [под науч. ред. С. В. Бушуева, канд. техн. наук]. –Екатеринбург: УрГУПС, 2016 – Вып. 1(216). – С.84–92.
8. Концепция эксплуатации ERTMS (Operational Concept for ERTMS (англ.)). / RSSB– ERTMS–OC. /Лондон: Rail Safety and Standards Board Limited, 2014. – № 2.–С.14–23.
9. Ning B. CTCS–Chinese Train Control System [Электронный ресурс] / D. Ning, T. Tang, K. Qiu, Q.Wang // Advanced train control systems. - Southamp-ton:WIT Press, 2010. - P.10-16. -URL: <http://https://docviewer.yandex.ru/> (дата обращения: 17.04.2019)
10. Emery D. Enhanced ETCS L2/L3 control system [Электронный ресурс] / Demerit // Advanced train control systems. – Southamp-ton:WIT Press, 2010. – P.113-122.–URL: <http://https://docviewer.yandex.ru/> (дата обращения: 17.04.2019).
11. Гапанович В.А. Стратегические направления научно-технического развития компании // Белая книга ОАО «РЖД» / Железнодорожный транспорт. - № 8. - 2007.
12. Тильк И.Г., Ляной В.В. Перспективы развития систем ИРДП // Автоматика, связь, информатика. -2007.-№8.-С.7-9.

## REFERENCES

1. Adadurov A. S. General principles of work of the ITARUS–АТС/system A.S. Adadurov, P.A. Popov//Automatic equipment, communication, informatics. – 2010. – No. 7. – Page 9–10.
2. Shuklin A. S. Interval regulation of train service with application of systems satellite [An electronic resource]//Scientific community of students of the XXI century. Technical science: collection the article on a mat. XXXIX international student's scientific and practical conference No. 2(39).-URL: [http://sibac.info/archive/technic/2\(39\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/2(39).pdf) (date of the address: 20.04.2019)
3. Gundayev I., Batrakov A. A control system of the movement of locomotives with use of GLONASS / GPS//Modern technologies of automation. – 2012. – No. 3. – Page 40 – 44.
4. Popov P.A. Subsystem Evrobalizov/Ampere-second. Adadurov P. A. Popov // Automatic equipment, communication, informatics. 2010. No.9. page 14 15.
5. Astrakhan V.I. New technologies of professional development of experts / V.I. Astrakhan//Automatic equipment, communication, informatics. – 2011. – No. 11. – Page 20–22.
6. Tony O. V., Rosenberg I. N., Altschuler B. S., Sazonov N. V., Sarmatov U. D., Tamarkin V. M. Satellite technologies on Russian Railways. M.: Design. Informatics. Cartography, 2008. 136 pp.



7. Ivanov I.S. The comparative analysis of satellite systems of navigation of ITARUS–ATC and ERTMS in safety of train service on the railroads of Russia / I.S. Ivanov, V.V. Komarov//Prospect: collection of scientific works students [under scientific edition of S.V. Bushuyev, Cand.Tech.Sci.]. –Yekaterinburg: USURT, 2016 – Issues 1(216). – Page 84–92.
8. Concept of operation of ERTMS (Operational Concept for ERTMS (English)). / RSSB–ERTMS–OC. / London: Rail Safety and Standards Board Limited, 2014.– No. 2. – Page 14–23.
9. Ning B. CTCS–Chinese Train Control System [Electronic resource] / D. Ning, T. Tang, K. Qiu, Q.Wang // Advanced train control systems. - Southamp–ton:WIT Press, 2010. - P.10-16. - URL: <http://https://docviewer.yandex.ru/> (date of the address: 17.04.2019)
10. Emery D. Enhanced ETCS L2/L3 control system [Electronic resource] / D. Emery // Advanced train control systems. – Southamp–ton: WIT Press, 2010. – P.113-122.–URL: <http://https://docviewer.yandex.ru/>(date of the address: 17.04.2019).
11. Gapanovich V. A. Strategic directions of scientific and technical development of the company // White book of JSC " RZD " / Railway transport. - No. 8. - 2007.
12. Tilk I. G., Lanou V. V. prospects of development of systems IRDP // Automation,communication,Informatics.-2007.-No.8.-Pp.7-9.

### Информация об авторах

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](mailto:sword1971@yandex.ru);

Халиманов Данила Сергеевич–аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск;

Терскова Ольга Евгеньевна– студентка группы СОД.2–15–2, факультета «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск.

### Authors

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](mailto:sword1971@yandex.ru);

Khalimanov Danila Sergeyeovich – Ph. D. student, the Subdepartment of Automation, Telemechanics and Communication, Irkutsk State Transport University, Irkutsk;

Terskova Olga Evgenevna – student of SOD.2-15-2 group, Development of Transport Support System, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.

### Для цитирования

Демьянов В.В. О проблеме внедрения аппаратуры спутниковой навигации в состав комплексов на железнодорожном транспорте ИРДП [Электронный ресурс] / В.В. Демьянов, Д.С. Халиманов, О.Е. Терскова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2019. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/35-2019>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.10.2019)

### For citation

Dem'yanov V.V., Khalimanov D.S., Terskova O.E., *On the issue of introduction of satellite navigation equipment in the composition of the complexes IRDP on railway* [Electronic resource] . *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2019, no. 1. [Accessed 10/10/19]