

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 629.4.053.2

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-2>

Современные системы интервального регулирования движения поездов железных дорог мира



Александр БАТУРИН



Александр ОСИПОВ

*Александр Павлович Батури́н ¹,
Александр Петро́вич Осипов ²*

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Москва, Россия.

** ² traimans@mail.ru.*

АННОТАЦИЯ

Обзорное исследование посвящено анализу современных систем, направленных на дополнение или замену существующих систем железнодорожной автоматики.

Рассматриваются ERTMS (ЕС), CTCs (КНР), ATACS (Япония), PTC (США), АБТЦ-МШ (Россия).

Представлены основные подходы и принципы, положенные в основу разработки систем интервального регулирования, современные тенденции их развития на железнодорожных магистралях общего пользования в России и за ру-

бежом с учётом масштабов их применения, основные проблемы, возникшие на этапах внедрения и эксплуатации, а также предложена оценка перспектив дальнейшего совершенствования данных систем.

Несмотря на то, что каждая из систем заслуживает отдельного детального рассмотрения, сделана попытка провести системный сравнительный анализ и выявить различия и общие закономерности их последующей эволюции.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, системы интервального регулирования, безопасность движения поездов, опыт внедрения, современные системы управления движением.

Для цитирования: Батури́н А. П., Осипов А. П. Современные системы интервального регулирования движения поездов железных дорог мира // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-2>.

*Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.*

ВВЕДЕНИЕ

История развития средств интервального регулирования на железнодорожном транспорте непосредственно связана с развитием самих железных дорог. На ранних этапах, когда движение поездов регулировалось исключительно с помощью расписания и телеграфных указаний, перевозочный процесс неминуемо сопровождался крушениями и столкновениями поездов, чему были виной как недостаточная скорость передачи телеграмм, так и человеческий фактор.

Первым техническим средством, позволяющим контролировать занятие поездами перегонов, была изобретённая в 1849 году жезловая, а затем и электрожезловая система, которая предотвращала занятие перегона более, чем одним поездом. В начале XX века на смену ей сначала пришла полуавтоматическая блокировка, являющаяся дальнейшим развитием электрожезловой системы, а после – автоблокировка, впоследствии дополненная системой автоматической локомотивной сигнализации. В ходе дальнейшего совершенствования система автоблокировки в сочетании с локомотивной сигнализацией стала наиболее распространённой системой интервального регулирования на железных дорогах мира. Однако сейчас к ставшей традиционной системе автоблокировки предъявляются все более возрастающие требования, которым она удовлетворить уже не может.

В настоящее время наблюдается значительный рост роли систем интервального регулирования движения поездов в качестве средства повышения пропускной и провозной способности участков. Современные системы интервального регулирования предлагают комплексное решение вопросов увеличения пропускной способности линий, повышения показателей безопасности и эффективности перевозок. В процессе разработки систем интервального регулирования был накоплен значительный опыт, что послужило причиной формирования разных подходов к решению задач по повышению безопасности движения и пропускной способности участков.

Цель исследования – анализ современных систем, направленных на дополнение или замену существующих систем железнодорожной автоматики. В рамках данной статьи приведён аналитический обзор современных систем интервального регулирования движения поездов, применяемых на железных дорогах общего пользования, рассматриваются

принципы их работы, а также производится анализ проблем, с которыми пришлось столкнуться на этапах внедрения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

ERTMS и CTCS – единые системы управления железнодорожным транспортом

Система ERTMS (European rail traffic management system) – европейская система управления железнодорожным транспортом – в настоящее время является единой системой, применяемой на сети железных дорог общего пользования Европы. ERTMS включает в свой состав Европейскую систему управления поездом (ETCS), а также систему мобильной радиосвязи для железных дорог (GSM-R).

CTCS (Chinese train control system) – китайская система управления движением поездов – в настоящее время основная система интервального регулирования, применяемая на железных дорогах Китая.

Обе системы можно рассматривать вместе как по причине их технической и функциональной схожести, так и по предпосылкам, послужившим причиной их создания [1].

Обе системы создавались как решение проблемы создания единого железнодорожного пространства в условиях применения большого количества различных систем интервального регулирования на железных дорогах стран-участниц Евразии и Китая соответственно. С технической точки зрения обе системы являются многоуровневыми – каждому уровню системы соответствует определённый тип оборудования, которое применяется на участках внедрения.

Принцип работы обеих систем основывается на широком применении бализ (так называемых евробализ в ЕС) – радиомаяков, располагаемых на пути и осуществляющих обмен данными с локомотивом, отслеживающих его местоположение. На начальных технических уровнях систем (ETCS-1, CTCS-1) наибольшая роль в передаче информации ложится именно на них. Бализы подразделяются на активные и пассивные. Активные бализы при прохождении их поездом осуществляют передачу на поезд информации о показании впереди лежащих светофоров, допустимой скорости движения, целевой скорости, действующих ограничениях и координате. При проходе поезда через пассивную бализу на поезд передаётся информация только о координате и ограничениях



Таблица 1

Перечень оборудования и функций ERTMS на различных уровнях ^{1, 2}

Уровень	Допускаемая скорость движения	Тип сигнализации	Контроль поездного положения и целостности поезда	Контроль соблюдения скорости
ETCS-1	До 160 км/ч	Светофоры + АЛС	Рельсовые цепи + счётчики осей	Евробализы + локомотивные устройства ETCS
ETCS-2	До 250 км/ч	АЛС по цифровому радиоканалу	Рельсовые цепи + счётчики осей	Цифровой радиоканал + евробализы + локомотивные устройства ETCS
ETCS-3 (подвижные блок-участки)	Выше 250 км/ч	АЛС по цифровому радиоканалу	Цифровой радиоканал + поездные устройства	Цифровой радиоканал + локомотивные устройства ETCS

Разграничение поездов в системе ETCS на разных уровнях представлено на рис. 1.

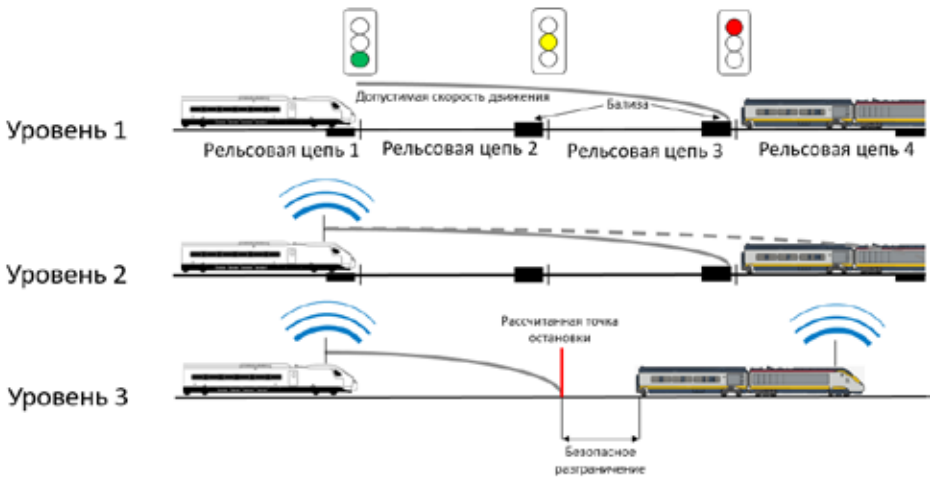


Рис. 1. Разграничение поездов в системе ETCS на разных уровнях.

скорости. В дальнейшем (ETCS-2) основную роль в передаче информации на поезд начинает выполнять цифровой радиоканал стандарта GSM-R, базисам же отводится вспомогательная роль. Система CTCS на поздних уровнях (CTCS-2) также дополняется системой многозначной автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), осуществляющей расширенный приём информации о количестве свободных блок-участков [2, 3].

В системе ETCS существует три уровня. Перечень функций и оборудования приведен в табл. 1.

В противовес ETCS система CTCS имеет пять уровней технического оснащения: от нулевого до четвертого. Перечень оборудования и функций приведен в табл. 2.

Регулирование поездов на разных уровнях системы CTCS представлено на рис. 2.

К преимуществам систем можно отнести широкую возможность модернизации с целью дальнейшего использования в условиях увеличения размеров движения, взаимную совместимость разных уровней при условии совпадения версий спецификаций, а также высокую надежность и эффективность.

Однако, эксплуатация систем также выявила и ряд проблем, часть из которых не была достаточно проанализирована при внедрении. Наиболее заметны они при детальном рассмотрении системы ERTMS, первой из двух.

В ходе внедрения системы на железных дорогах стран-участниц Евразии наибольшее

¹ ERTMS – Delivering flexible and reliable rail traffic [Электронный ресурс]: <https://uic.org/IMG/pdf/eu-ertms-en.pdf>. Доступ 10.01.2023

² ERTMS. European Commission website. Transport and Mobility. [Электронный ресурс]: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms_en#:~:text=ERTMS%2C%20which%20stands%20for%20%E2%80%98European,the%20Single%20European%20Railway%20Area. Доступ 10.01.2023.

Таблица 2

Перечень оборудования и функций CTCС на различных уровнях
[на основе материалов [2]]

Уровень	Допускаемая скорость движения	Тип сигнализации	Контроль поездного положения и целостности поезда	Контроль соблюдения скорости
CTCS-0	До 120 км/ч	Светофоры + АЛС	Рельсовые цепи	Бортовая аппаратура АЛС
CTCS-1	До 160 км/ч	АЛС	Рельсовые цепи	Путевые бализы + бортовая аппаратура АЛС
CTCS-2	До 250 км/ч	Многозначная АЛС	Рельсовые цепи	Путевые бализы + бортовая аппаратура многозначной АЛС
CTCS-3	Свыше 250 км/ч	Многозначная АЛС, цифровой радиоканал	Рельсовые цепи	Путевые бализы + бортовая аппаратура многозначной АЛС
CTCS-4 (подвижные блок-участки)	Свыше 250 км/ч	Многозначная АЛС, цифровой радиоканал	Рельсовые цепи	Цифровой радиоканал + путевые бализы + бортовая аппаратура многозначной АЛС

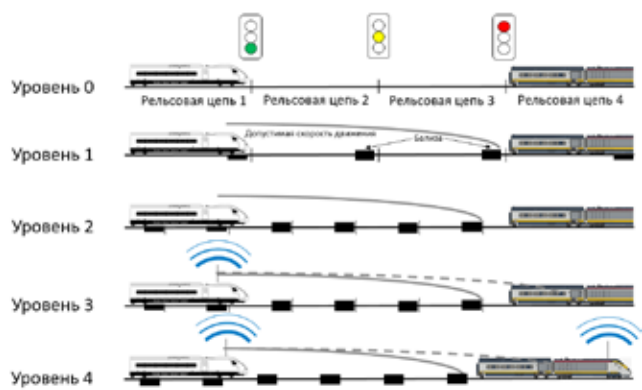


Рис. 2. Разграничение поездов в системе CTCС на разных уровнях.

шей проблемой была необходимость адаптации системы к условиям национальных железных дорог³, что является значимым препятствием по ряду причин [4, 5]:

- необходимость дооборудования локомотивов, обращающихся на участках внедрения, бортовым комплексом ETCS при реализации уровня 1, а также дальнейшая их модификация при переходе на второй уровень системы, а также обновления ПО в случае появления новых версий спецификации системы ETCS. Дополнительным препятствием также является необходимость установления совместимости локомотивной аппаратуры с устанавливаемым комплексом ETCS, что, например, стало причиной для изменения сроков пере-

хода системы на уровень 2 на железных дорогах Дании (с 2023 на 2030 год)⁴;

- несовместимость разных версий спецификации систем;
- долгий срок сертификации и допуска к эксплуатации, необходимость подтверждения совместимости систем при реализации международных сообщений.

Высокая стоимость внедрения системы [6] привела к тому, что на железных дорогах Швейцарии⁵ и ряде участков железных дорог Германии с 2011 года внедрялась версия ETCS

³ Трудности и перспективы развёртывания ETCS в Европе // Железные дороги мира, 2021. [Электронный ресурс]: <https://zdmira.com/articles/trudnosti-i-perspektivy-razvertyvaniya-etcs-v-evrope>. Доступ 10.01.2023.

⁴ ERTMS: Its Rise and (Occasional) Stall. Critical software [Электронный ресурс]: <https://criticalsoftware.com/en/news/rise-and-stall-of-ertms>. Доступ 10.01.2023

⁵ Raymond, G. ETCS rollout. Siemens' Rollout of ETCS L1 Limited Supervision on SBB. IRSE News, 2014, pp. 13–14. [Электронный ресурс]: [https://webinfo.uk/webdocssl/irse-kbase/ref-viewer.aspx?type=&RefNo=1981059986&GroupMembers=&document=IRSE%20News%20199%20\(Apr%202014\).PDF](https://webinfo.uk/webdocssl/irse-kbase/ref-viewer.aspx?type=&RefNo=1981059986&GroupMembers=&document=IRSE%20News%20199%20(Apr%202014).PDF). Доступ 10.01.2023.



уровня 1 «Limited supervision», которая подразумевает максимальное использование существующей системы железнодорожной автоматизации с ограниченным функционалом контроля допустимой скорости и передачи информации на поезд.

Другой проблемой системы являются проблемы реализации третьего уровня оснащения системы (ETCS-3), который подразумевает полный отказ от путевой аппаратуры с организацией движения исключительно по цифровому радиоканалу. На текущий момент не решены вопросы контроля целостности пути и подвижного состава на участках внедрения, ввиду чего пока нет гарантии обеспечения безопасности движения. Что касается целесообразности, наиболее спорным является полный отказ от путевой аппаратуры, что фактически не позволяет реализовать третий уровень до фактической окупаемости путевой аппаратуры более ранних версий системы⁶. По этим причинам до последнего времени не было ни одного участка, который оборудован системой ETCS третьего уровня.

В системе CTCS на финальном уровне развития не предусматривается отказ от путевой аппаратуры, однако до недавнего времени, как и в случае с ETCS-3, участки применения CTCS-4 отсутствуют [7]. Вместе с тем недостатки системы CTCS схожи с ERTMS, что выражается в высокой стоимости внедрения и необходимости адаптации существующей инфраструктуры и локомотивного парка для эффективного использования системы.

В настоящее время обе системы – ERTMS и CTCS – активно внедряются на железных дорогах стран Европы и Китая соответственно. На текущий момент системой ERTMS всех уровней оборудовано порядка 110 тыс. километров⁷ железнодорожной магистральной сети, а также городских железнодорожных линий [8]. Система эксплуатируется на железных дорогах Западной и Восточной Европы, стран Скандинавского полуострова, Австралии, Азии и Латинской Америки. Система CTCS получила наибольшее применение на высокоскоростных магистралях Китая [9], системами CTCS уровня 2

и 3 оснащено порядка 40 тыс. километров сети железных дорог Китая [10], низкие уровни системы широко применяются на участках с интенсивным, преимущественно грузовым, движением.

ATACS – японский подход к реализации ETCS-3

ATACS (Advanced train administration and communications system) – продвинутая система управления поездами – японский вариант системы интервального регулирования, базирующийся на использовании цифровых средств радиосвязи. Отказ от путевой аппаратуры обоснован желанием как сократить стоимость установки и содержания системы, так и повысить надежность системы ввиду частых случаев повреждения рельсовых цепей при землетрясениях. Система позиционируется в качестве перспективной замены системы автоблокировки как на линиях общего пользования, так и на участках обращения высокоскоростных поездов Синкансен.

Принцип работы системы заключается в непрерывной передаче поездами по радиоканалу информации о своем местоположении и скорости движения. Координаты и параметры движения поезда определяются с помощью бортовых датчиков пути и скорости, а также путевых транспондеров. Путевые транспондеры являются единственным оборудованием, которое устанавливается на пути, и служат для коррекции координаты поезда, измеренной бортовыми датчиками. Во избежание накопления ошибки измерений транспондеры устанавливаются с интервалом в 1 км.

Далее информация о параметрах движения поезда передается от бортовой аппаратуры на станционное управляющее устройство с помощью цифровой радиосвязи. Станционное управляющее устройство содержит базу данных участка железнодорожного пути, который разделен на отрезки с известными координатами начала и конца. Благодаря информации с бортовых устройств осуществляется контроль свободности путевых отрезков, на основе чего передаются указания о занятых отрезках пути в бортовые устройства поездов.

За счёт наличия информации о занятости впередилежащего отрезка пути, которая непрерывно передается на поезд по радиоканалу, локомотивными устройствами безопасно-

⁶ Kessel, C. ERTMS – A reality check. RailEngineer, 2015. [Электронный ресурс]: <https://www.railengineer.co.uk/ertms-a-reality-check/>. Доступ 10.01.2023.

⁷ ERTMS website. [Электронный ресурс]: <https://www.ertms.net/>. Доступ 10.01.2023.



Рис. 3. Разграничение поездов в системе ATACS [выполнено авторами].

сти осуществляется контроль расстояния до хвоста впереди идущего поезда с корректировкой максимально допустимой скорости при сближении и выполнением прицельной или экстренной остановки поезда при необходимости [11, 12]. Разграничение поездов в системе ATACS представлено на рис. 3.

Основными преимуществами системы являются надёжность и относительная дешевизна ввиду почти полного отсутствия путевой аппаратуры. Однако в настоящий момент широкое применение системы сдерживается тем, что до конца не решены вопросы контроля целостности и положения грузовых поездов. По приведённым выше причинам несмотря на то, что система ATACS позиционируется как система для участков со смешанным движением, она применяется исключительно на линиях обращения пассажирских поездов⁸. В настоящее время участками внедрения системы являются линии Сенсеки и Сайкио, совокупная длина которых составляет 87 км.

PTC – принцип позитивного управления

На сети железных дорог США исторически сложилось, что применение средств железнодорожной автоматики считалось оправданным только на участках с интенсивным движением поездов, высокой грузонапряжённостью и в случае организации движения на них скоростных пассажирских поездов (Amtrak). На значительной части железнодорожной сети, так называемой «тёмной территории» (dark territory), составляющей около 40 % протяжённости сети, системы интервального регулирования не применяются вовсе. Организация движения поездов осуществляется с помощью регистрируемых диспетчерских приказов (так называемая система ордеров на занятие). Тем не менее, с 2008 года [13] в соответствии с распоряжением федерального железнодорожного агент-

ства США все грузонапряжённые участки, участки с интенсивным движением, на которых организуется перевозка опасных грузов (линии 1 класса) либо пассажирское движение (коридоры Amtrak), должны быть оборудованы системами автоблокировки на базе стандарта PTC (Positive train control) [14].

В соответствии с данным стандартом на локомотив должна осуществляться непрерывная передача разрешающей (позитивной) информации о допустимой скорости движения с учетом действующих ограничений скорости. Системы автоблокировки на базе стандарта PTC позиционируются как средство по предотвращению несанкционированных выездов на занятый перегон, контроля допустимой скорости движения и осуществления экстренной остановки поезда в случае нарушения допустимых режимов движения поезда.

В настоящее время на сети железных дорог США применяются четыре системы стандарта PTC: I-ETMS, E-ATC, ITCS, ACSES. Системы I-ETMS, E-ATC представляют собой системы автоблокировки, дополненные системой автоматической локомотивной сигнализации. Отличием является то, что в системе E-ATC передача информации о показаниях путевых светофоров выполняется по рельсовой линии, в то время как в системе I-ETMS производится расширенная передача данных по радиоканалу не только о показаниях светофоров, но также о допустимой скорости и действующих ограничениях скорости. Система ACSES является системой локомотивной сигнализации, применяемой как самостоятельное средство сигнализации и связи по радиоканалу без установки проходных светофоров на перегоне⁹. Система ITCS представляет собой систему автоблокировки с виртуальными блоками участками – перегон разбивается на вирту-

⁸ Stacy, M. ATACS – The Japanese Level 3? RailEngineer, 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.railengineer.co.uk/atacs-the-japanese-level-3/>. Доступ 12.01.2023

⁹ Overview: Positive train control (PTC). Amtrak media-brief. [Электронный ресурс]: https://media.amtrak.com/wp-content/uploads/2018/06/PTC-Media-Brief_June-2018.pdf. Доступ 12.01.2023.



Таблица 3

Перечень систем на базе стандарта РТС [выполнено авторами на основе материалов¹⁰]

Система	Вид сигнализации	Способ передачи информации на локомотив	Способ отслеживания положения локомотива	Условия применения системы
I-ETMS	Светофоры + АЛС	Радиоканал	GPS	Линии 1 класса
E-ATC	Светофоры + АЛС	Рельсовая линия	-	Линии 2 и 3 класса
ITCS	АЛС (виртуальные блок-участки)	Радиоканал	GPS	Малоделятельные участки железных дорог
ACSES	АЛС	Радиоканал + рельсовая линия	Путевые транспондеры	Участки организации скоростного пассажирского движения



Рис. 4. Разграничение поездов в системах РТС [выполнено авторами].

альные отрезки, загружаемые в память локомотивных устройств, контроль положения поездов выполняется с помощью систем навигации, а разрешением на занятие впереди лежащего виртуального блок-участка является разрешающая команда, передаваемая по радиоканалу. Таким образом, система ITCS является по сути виртуальной автоблокировкой с передачей разрешающих команд на виртуальные светофоры по цифровой радиосвязи [15].

Перечень и основные функции систем приведены в табл. 3. Принцип разграничения в системах представлен на рис. 4.

В настоящий момент системами I-ETMS и E-ATC оборудовано свыше 200 тыс. км железных дорог США и Канады. Системы ACSES применяется на участке Северо-Восточного коридора (NEC) Amtrak длиной

735 км. Системой ITCS оборудован в настоящее время на территории США участок линии Мичиган протяженностью 105 км.

К преимуществам применяемых систем можно отнести относительную простоту внедрения и эксплуатации, поскольку они базируются на уже используемых системах автоблокировки – основные расходы в части внедрения систем относятся к модернизации локомотивных устройств безопасности и организации сети передачи данных по радиоканалу¹¹. Вместе с тем ключевыми недостатками систем на базе стандарта РТС являются взаимная несовместимость систем [16], высокая стоимость дооборудования локомотивов и невозможность дальнейшей модернизации в части перехода к подвижным блок-участкам, что существенно сдерживает развитие системы.

АБТЦ-МШ – автоблокировка с подвижными блок-участками для магистралей общего пользования

Система автоблокировки с реализацией технологии подвижного блок-участка в на-

¹⁰ Positive Train Control (PTC) in the United States. ITC Signaling Seminar by Robert Burkhardt. [Электронный ресурс]: <https://webinfo.uk/webdocssl/irsekbase/ref-viewer.aspx?type=&RefNo=1559545879&GroupMembers=%7B03%20Seminar%20or%20Tech%20Visit%7D%7B08%20IRSE%20ITC%20paper%7D%7B12%20Traffic%20Management%7D%7B16%20Train%20Prot.%20Systems%7D%7B18%20Level%20Crossings%7D%7B2A%20Systems%20Engineering%7D%20document=2-3%20Positive%20Train%20Control%20in%20the%20United%20States%20%28Robert%20Burkhardt%29.PDF>. Доступ 13.01.2023.

¹¹ Positive Train Control in the US: A Vital, Complex and Expensive Technology. Railway News [Электронный ресурс]: <https://railway-news.com/positive-train-control-in-the-us-a-vital-complex-and-expensive-technology/>. Доступ 13.01.2023.

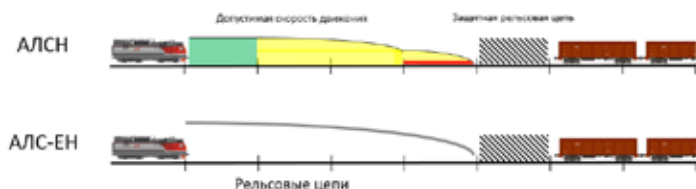


Рис. 5. Разграничение поездов в системе АБТЦ-МШ при использовании различных систем АЛС [выполнено авторами].

стоящий момент является одной из наиболее современных систем интервального регулирования, применяемых на сети железных дорог общего пользования России. Основными компонентами технологии являются путевая и бортовая аппаратура.

В качестве путевой аппаратуры выступает система автоблокировки с тональными рельсовыми цепями без изолирующих стыков и проходных светофоров. Движение поездов осуществляется по сигналам автоматической локомотивной сигнализации, используемой как самостоятельное средство сигнализации и связи. На участках, оборудованных АБТЦ-МШ, может использоваться как традиционная АЛСН, так и более совершенная АЛС-ЕН – цифровая система локомотивной сигнализации с расширенной передачей информации. Бортовая аппаратура представлена локомотивными устройствами безопасности КЛУБ/БЛОК, которые производят контроль допустимой скорости в соответствии с принимаемыми кодами АЛСН или АЛС-ЕН.

Разграничение попутно следующих поездов осуществляется с помощью группы некодируемых рельсовых цепей, образующих за хвостом поезда защитный участок [17]. В процессе движения поезда границы защитного участка сдвигаются на одну или несколько рельсовых цепей вслед за поездом. Движение поездов в соответствии с принимаемыми кодами АЛС осуществляется в режиме «на препятствие» с построением кривой допустимой скорости до границы защитного участка [18, 19]. Разграничение поездов в системе автоблокировки АБТЦ-МШ представлено на рис. 5.

В настоящее время автоблокировкой данного типа оборудовано порядка 1000 км сети. Наиболее значимыми участками внедрения являются Большой Луг–Слюдянка, Журавка–Миллерово и участок Московского центрального кольца (гибридная система с применением радиоканала) [20].

К преимуществам данной системы можно отнести ее универсальность, возможность

адаптации для любых участков железных дорог и возможность значительного сокращения межпоездного интервала. К недостаткам системы можно отнести отсутствие совместности с большинством систем кодовой автоблокировки, а также необходимость обновления локомотивных устройств безопасности на локомотивах старых серий для возможности в полной мере пользоваться преимуществами технологии подвижного блок-участка, что становится причиной высокой стоимости внедрения.

ВЫВОДЫ

По итогам выполненного анализа можно сделать вывод о том, что при построении современных систем интервального регулирования движения поездов наиболее существенным направлением развития является постепенное уменьшение количества путевой аппаратуры, в первую очередь светофоров, и перенос функции передачи информации на локомотивные устройства безопасности наряду с функцией контроля допустимой скорости и бдительности машиниста. Другим важным направлением является увеличение количества ответственной информации, передаваемой на локомотив, что повышает потребность в широком применении цифровых средств радиосвязи. В соответствии со сложившимися направлениями наиболее перспективной технологией являются подвижные блок-участки.

Вместе с тем в настоящее время на железных дорогах общего пользования наиболее распространёнными остаются системы интервального регулирования, которые либо опираются на ранее установленные средства железнодорожной автоматики, либо работающие в гибридном формате как сочетание путевой аппаратуры с передачей данных по радиоканалу. Системы интервального регулирования, использующие либо подвижные блок-участки, либо исключительно радиоканал, в настоящее время распространены ограниченно ввиду как, в ряде случаев, высо-



кой стоимости реализации, так и наличия нерешённых технических вопросов, что сдерживает их широкое применение на железнодорожных магистралях общего пользования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Система ETCS: перспективы и опыт [J. Pore по материалам комитета ITC IRSE, Signal und Draht, 2007, № 10, S. 34–40 (нем.); S. 41–47 (англ.)] // Железные дороги мира. – 2008. – № 4. – С. 63–71. Электронный ресурс https://zdmira.com/images/pdf/_dm2008-04_63-71.pdf. Доступ 13.01.2023.
2. Modern Railway Engineering. Ed.: Hessami, A. InTech, 2018, 208 p. DOI: 10.5772/68005.
3. Ning, B., Tang, T., Qiu, K., Gao, C., Wang, Q. CTCS – Chinese Train Control System. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, 2010, Vol 46. DOI: 10.2495/978-1-84564-494-9/01.
4. Ranjbar, V., Olsson, N. O. E. Key challenges for European Rail traffic Management System. Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27–30, 2020, Helsinki, Finland. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/351854445_Key_challenges_of_European_Rail_traffic_Management_System. Доступ 13.01.2023.
5. Ranjbar, V. Challenges for ERTMS related to implementation, technology and railway capacity. Licentiate Thesis in Transport Science, KTH Royal Institute of Technology, 2021. [Электронный ресурс]: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1618096/FULLTEXT01.pdf>. Доступ 13.01.2023.
6. Abbas, Y., Martinetti, A., Houghton, R., Majumdar, A. Disentangling large scale technological projects: Learning from ERTMS roll-out case study in the Netherlands. Research in Transportation Business & Management, 2022, Vol. 45, Part C, 100856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100856>.
7. Lin Junting, Dang Jianwu, Min Yongzhi. NGCTCS: Next-generation Chinese Train Control System. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2016, 9 (6), pp. 122–130. DOI: 10.25103/jestr.096.18.
8. Lawrence, M., Bullock, R., Liu, Z. China's High-Speed Rail Development. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2019. DOI: 10.1596/978-1-4648-1425-9.
9. Miyaguchi, N., Uchiyama, D., Inada, I., Baba, Y., Hiura, N. The radio-based train control system ATACS. WIT Transactions on The Built Environment, 2014, Vol. 155, Computers in Railways XIV Special Contributions, pp. 175–183. [Электронный ресурс]: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/CRS14/CRS14015FU1.pdf>. Доступ 13.01.2023.
10. Igarashi, T., Aoyagi, M., Ubukata, R., Amiya, N., Tobita, Y. Automatic train control system for the Shinkansen utilizing digital train radio. WIT Transactions on The Built Environment, Computers in Railways IX, J. Allan, C. A. Brebbia, R. J. Hill, G. Sciuotto & S. Sone (Editors), 2004, Vol. 74, p. 455–463. DOI: 10.2495/CR040471.
11. Zhipeng Zhang, Xiang Liu, Holt, K. Positive Train Control (PTC) for railway safety in the United States: Policy developments and critical issues. Utilities Policy, 2018, Vol. 51, pp. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.03.002>. [Ограниченный доступ].
12. Hann, G. Incremental Train Control System. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2010, Vol. 5, Iss. 4, pp. 50–55. DOI: [doi: 10.1109/MVT.2010.939108](https://doi.org/10.1109/MVT.2010.939108). [Ограниченный доступ].
13. Ефремов А. Развертывание системы ETCS на городской железной дороге Штутгарта // Железные дороги мира. – 2019. – № 9. – С. 63–70. [Электронный ресурс]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2019-09_63-70.pdf. Доступ 13.01.2023.
14. Развитие системы сигнализации в Китае и автоведение поездов [Материалы Первой всемирной конференции по сигнализации (эволюция системы ERTMS), Милан (Италия), 26–28 марта 2018 г.; International Railway Journal, 2018, № 7, pp. 32–35] // Железные дороги мира. – 2018. – № 10. [Электронный ресурс] <https://zdmira.com/articles/razvitiye-sistemy-signalizatsii-v-kitae-i-avtovedenie-poezdov>. Доступ 13.01.2023.
15. Peters, J. C., Frittelli, J. Positive Train Control (PTC): Overview and Policy Issues. Report number: R42637, 2012. Affiliation: Congressional Research Service. DOI: 10.13140/RG.2.1.4916.0089.
16. Астрахан В. И., Воронин В. А., Кравец И. М., Малинов В. М., Марков А. В., Маршов С. В., Цукерман Б. Г., Шухина Е. Е. Микропроцессорная автоблокировка типа АБПЦ-МШ: Учебное пособие. М.: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (Москва), 2013. – 128 с.
17. Астрахан В. И., Зорин В. И., Кисельгоф Г. К. [и др.]. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У): Учебное пособие. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 177 с.
18. Системы управления движением поездов в США [W. Vantuono. International Railway Journal, 2009, № 10, p. 32–34, 36; материалы администрации США (frwebgate.access.gpo.gov)] // Железные дороги мира. – 2010. – № 9. – С. 40–43. [Электронный ресурс]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2010-09_40-43.pdf. Доступ 13.01.2023.
19. Безопасный локомотивный объединенный комплекс БЛОК. Ред. Астрахан В. И., Висков, В. В., Гринфельд И. Н., [и др.]. М.: ОАО «НИИАС», 2013. – 135 с.
20. Шухина Е. Е., Астрахан В. И., Панферов И. А., Кисельгоф Г. К. Гибридная система интервального регулирования движения поездов для Московского центрального кольца // Материалы конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018)». М.: Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2018. – С. 31–35. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_36916628_13419167.pdf. Доступ 13.01.2023. ●

Информация об авторах:

Батурин Александр Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Осипов Александр Петрович – технолог 1 категории Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»); аспирант кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, traintans@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.02.2023, одобрена после рецензирования 21.04.2023, принята к публикации 12.05.2023.