

УДК: 656.25:62-52

В. Г. Новиков, канд. техн. наук
А. И. Сафронов, канд. техн. наук
В. А. Кузюков, канд. техн. наук

*Кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
«Управление и защита информации»,
Российский университет транспорта (МИИТ), Москва*

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ В МОСКОВСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ

Статья посвящена обзору систем микропроцессорной централизации, внедренных в Московском метрополитене.

Внедрение микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов в Московском метрополитене обусловлено необходимостью замены морально устаревших систем электрической централизации релейного типа. Такие системы были разработаны и внедрены на метрополитене еще в 60–80 годы прошлого века. Системы на базе микропроцессорной техники выбраны для использования в Московском метрополитене на основании ранее проведенного детального анализа мирового опыта. Было известно, что затраты на приобретение и установку микропроцессорных систем управления окажутся экономически оправданными.

К классу микропроцессорных систем управления движением поездов метрополитена относятся системы диспетчерской, релейно-процессорной и микропроцессорной централизации, а также интервального регулирования движения поездов, основанные на применении аппаратуры тональных рельсовых цепей четвертого поколения. Системы микропроцессорной централизации функционируют непрерывно в режиме реального времени. Они обеспечивают автоматический сбор информации о состоянии контролируемых объектов централизации и осуществляют управление ими также в реальном масштабе времени.

В статье проведен анализ евроазиатского опыта применения систем управления движением поездов, на базе которого составлена классификационная схема существующих разновидностей подобных систем. Приведено изображение графического пользовательского интерфейса автоматизированного рабочего места диспетчера поста централизации на примере станции «Битцевский парк» Бутовской линии. Приведена структурная схема диспетчерской централизации Московского метрополитена с разбивкой на взаимосвязанные модули и выполнено ее детальное описание. Обозначено место систем микропроцессорной централизации в учебном процессе передовых железнодорожных вузов.

Безопасность движения поездов, микропроцессорные системы централизации, Московский метрополитен, диспетчерская централизация, система автоматического считывания номера маршрута поезда

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-268-293

Введение

Московский метрополитен — транспортное предприятие, известное высокими показателями эффективности пассажироперевозок. Эффективность связана

с удержанием мирового первенства по скорости движения поездов, в часы «пик» достигнут минимальный межпоездной интервал в 90 секунд. Это значение достигнуто посредством использования на метрополитене систем обеспечения безопасности. Данному параметру уделяется особое внимание при планировании движения поездов.

Отметим, что в настоящее время в мире преобладают релейные системы электрической централизации, призванные обеспечивать безопасность движения поездов [1]. Эти системы известны с 1960–80-х годов прошлого столетия и успели показать свою многолетнюю эффективность [2]. В условиях функционирования метрополитена факторами воздействия внешней среды можно поступиться, все равно остаются слабые места – открытые перегоны (Сокольническая, Филевская, Замоскворецкая линии), а также населяющие тоннели грызуны и протечки грунтовых вод. Сегодня известны более эффективные, надежные, отказоустойчивые системы на иной элементной базе, а именно микропроцессорные системы [3, 4].

С целью повышения качества работы Московского метрополитена непрерывно внедряются новые информационные технологии, модернизируются существующие решения [5]. Первостепенное значение имеет обеспечение безопасности движения поездов и, как следствие, сохранность здоровья и жизни пассажиров. Уделяется внимание повышению пропускной способности участков линий метрополитена и эффективности использования применяемых технических средств автоматизации и управления [6].

Любая авария и/или крушение составов на линиях Московского метрополитена, как правило, приводит к материальным и техническим потерям, большим экономическим затратам на восстановление подвижного состава, объектов станционной и путевой инфраструктуры, угрожает жизни и причиняет вред здоровью пассажиров.

К несчастью, в истории Московского метрополитена известны трагические случаи. 15 июля 2014 года произошла катастрофа, заставившая пересмотреть многое. Авария привела к большому числу жертв. Любые события, как положительные, так и отрицательные, – это неоценимый опыт. Сменилось руководство метрополитена, произошел пересмотр руководящих воздействий. Средства, выделяемые на развитие транспортного предприятия, стали направляться в необходимом объеме на ремонт существующей инфраструктуры и развитие пассажирских сервисов, обеспечивающих более комфортные перевозки и отвлекающих внимание пассажиров от произошедших печальных событий [7]. Пассажиры доверяют подземным скоростным железнодорожным магистралям, считая их основой бурной и многогранной жизни столицы.

Новые управленческие стратегии открыли дорогу современным техническим и технологическим решениям, активно стал перениматься опыт зарубежных метрополитенов. Был открыт центр профориентации – для экскурсий, лекций, наглядной агитации и ознакомления с технической литературой метрополитена.

На базе Центра осуществляется взаимодействие с делегациями из Китая [8], Турции [9], Белоруссии [10], Казахстана [11–13], Франции [14], Бельгии [15], Германии [16], Италии [17, 18], Финляндии [19], Швеции [20], Испании [21], Японии [22], Болгарии, Объединенных Арабских Эмиратов, Сингапура и других государств с высоким уровнем развития городской железнодорожной инфраструктуры, подземной и наземной [23].

Статья призвана продемонстрировать имеющиеся технические решения в области систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) на базе микропроцессорных систем управления движением поездов Московского метрополитена в сравнении с имеющимся зарубежным опытом.

1. Диспетчерская централизация

Диспетчерская централизация (ДЦ) – комплекс программно-технических средств оперативного руководства движением поездов, позволяющий поездному диспетчеру с единого диспетчерского центра, а также дежурному поста централизации (ДСЦП) с автоматизированного рабочего места на станции оказывать дистанционные управляющие воздействия стрелочными переводами и сигналами всех пунктов, подлежащих мониторингу и управлению.

В настоящее время все диспетчерские круги линий Московского метрополитена и персонал диспетчеров перевели в единый диспетчерский центр (ЕДЦ). Город и транспортное предприятие ГУП «Московский метрополитен» ставили задачу ускорить взаимодействие между диспетчерским персоналом четырех ключевых служб, а персонал, обеспечивающий ситуационное управление метрополитеном, должен был повысить эффективность и слаженность командной работы [24].

Реализована следующая схема: диспетчеры службы движения, электромеханической службы, службы электроснабжения и эскалаторной службы объединены в единое рабочее пространство – «Объединенный диспетчерский круг» (ОДК).

Данная схема позволяет диспетчерам ОДК существенно повысить оперативность реагирования (за счет сокращения времени передачи информации от службы к службе) на отклонения в нормальной работе метрополитена.

Рабочие места поездного диспетчера «ДЦХ1» и двух «ДЦХ3» оборудованы системой «ДЦ–ММ» и дополнены программой «ГИД» (для автоматического построения графика исполненного движения поездов по линии метрополитена). Программа «ДЦ–ММ» и программа «ГИД» позволяет поездному диспетчеру осуществлять контроль движения согласно установленному плановому графику движения пассажирских поездов (ПГД) и оперативно реагировать на изменения ситуации на конкретной линии метрополитена. «ДЦХ3» осуществляют контроль и управление отдельными объектами линии (станции).

Рабочие места инженеров-электронщиков дистанции ДЦ и ПОНАБ оборудованы новыми автоматизированными рабочими местами (АРМ). На базе

новых АРМ реализован круглосуточный мониторинг линейного оборудования «ДЦ-ММ», АРМ «ДЦХ1», АРМ «ДЦХ3», АРМ «ДСЦП».

В ЕДЦ реализована схема, собравшая в едином пространстве диспетчеров всех представленных в Московском метрополитене служб для повышения взаимодействия отработки нарушения нормальной работы метрополитена, что получило условное название «Центр организации перевозок» (ЦОП).

Комплекс устройств ДЦ включает в себя автоматическую блокировку на перегонах, электрическую централизацию на станциях и аппаратуру телеуправления и телесигнализации (ТУ–ТС), передающую управляющие и оповестительные сигналы. Развитием этих систем для нужд Московского метрополитена занимались ученые и разработчики МИИТа, возглавляемые д. т. н. профессором Л. А. Барановым [3]. С целью развития так называемого института диспетчеризации был создан и долгое время сопровождался тренажер поездного диспетчера [25–30]. Исследование функционирования систем ДЦ и их развитие продолжается [31]. Наряду с МИИТ (ныне РУТ) для нужд Петербургского метрополитена и магистрального железнодорожного сообщения ЛИИЖТ (ныне ПГУПС) параллельно, а где-то и совместно ведет не менее успешные разработки аналогичных систем [32, 33].

Среди недавних научных публикаций Люблянского университета найден качественный обзор имеющихся литературных источников по системам управления движением поездов. Показано место большого количества статей, опубликованных к моменту составления [34]. По результатам изучения статьи составлена схема (рис. 1) классификации и идентификации евроазиатского опыта использования систем управления движением поездов.

При подготовке схемы использованы материалы из зарубежных источников, связанных с системами управления движением поездов [35–41]. Из обзора [34] хорошо видно, что подавляющее большинство статей связано с таким показателем качества, как безопасность.

Крайне редко встречаются статьи о совместимости систем управления движением поездов и доступности этих систем. Эти темы являются узкоспециальными и перспективными. Им, безусловно, будет уделено повышенное внимание, когда мир программного обеспечения полностью откажется от использования десктопных приложений и перейдет на взаимосвязанные браузерные приложения, каждое из которых будет исполнять свою и только свою узкоспециальную функцию.

История развития европейских систем очень удачно проиллюстрирована (рис. 2) в брошюре, посвященной *ERTMS* и *ETCS* [42]. Эта иллюстрация позволяет мгновенно определить класс систем, на которые следует обратить внимание при заимствовании передового зарубежного опыта.

Следует отметить, что *ATP* сегодня признана устаревшей технологией и заменена на Европейскую систему управления железнодорожным сообщением (*European Rail Traffic Management System (ERTMS)*) [37].

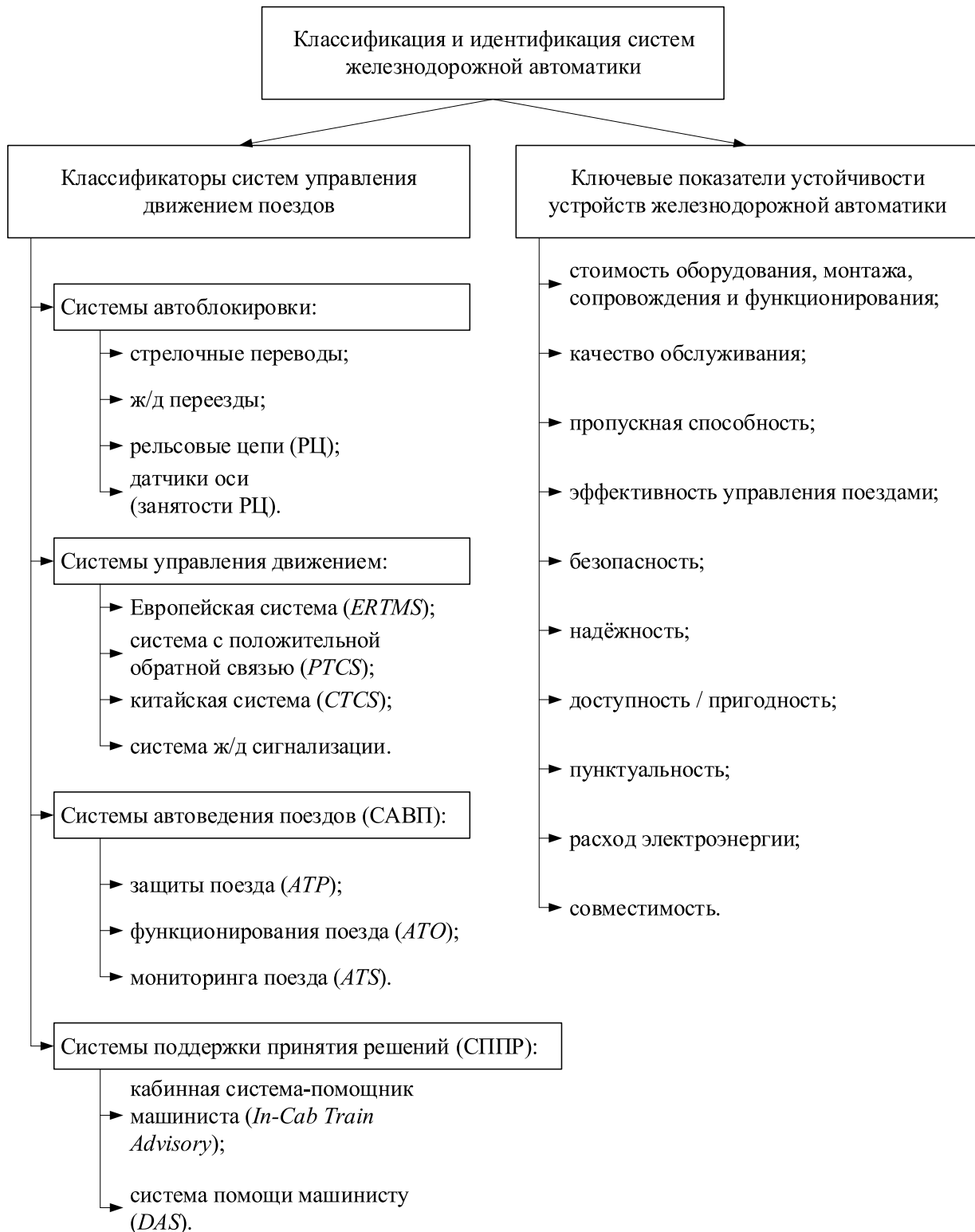


Рис. 1. Схема классификации и идентификации евроазиатского опыта использования систем управления движением поездов

Линии метрополитена оборудованы системой ДЦ и обеспечивают:

- управление из одного (или из ЕДЦ, или с терминала ДСЦП) пункта стрелками и сигналами станций;
- контроль на аппарате управления положением и занятостью стрелок, занятостью путей на станциях и на прилегающих к ним перегонах, а также повторение показаний светофоров на станциях с путевым развитием;
- возможность перехода на местное управление (с пульта-табло или непосредственно с пульта в релейной или с терминала ДСЦП) стрелками и сигналами на самой станции;
- выполнение требований, предъявляемых к электрической централизации, автоматической блокировке и системе автоматического регулирования скорости АЛС–АРС, применяемой в качестве самостоятельного средства сигнализации.

ДЦ дополняется устройствами автоматической записи ГИД, контроля номеров поездов или маршрутов, прибывающих на станции с путевым развитием, и устройствами протоколирования работы технических средств и действий оперативного персонала.

Группа поездных диспетчеров линии одновременно и управляет движением, и передает команды управления: задает маршруты следования поездов при нарушениях графика, открывает пригласительные сигналы светофоров для пропуска поездов без участия дежурных по станциям (ДСП), организует выполнение эффективных вариантов пропуска поездов, обеспечивает безопасность движения.

Система ДЦ Московского метрополитена (ДЦ–ММ) предназначена для мониторинга и контроля строгого исполнения ПГД, графика оборота (ГО) электроподвижного состава (ЭПС). ДЦ–ММ повышает уровень обеспечения безопасности движения поездов и является более высокотехнологичной системой по сравнению с аналогичными предыдущих поколений разработки [2, 43–48].

ДЦ–ММ обеспечивает управление движением поездов и полный контроль ситуации на линии метрополитена.

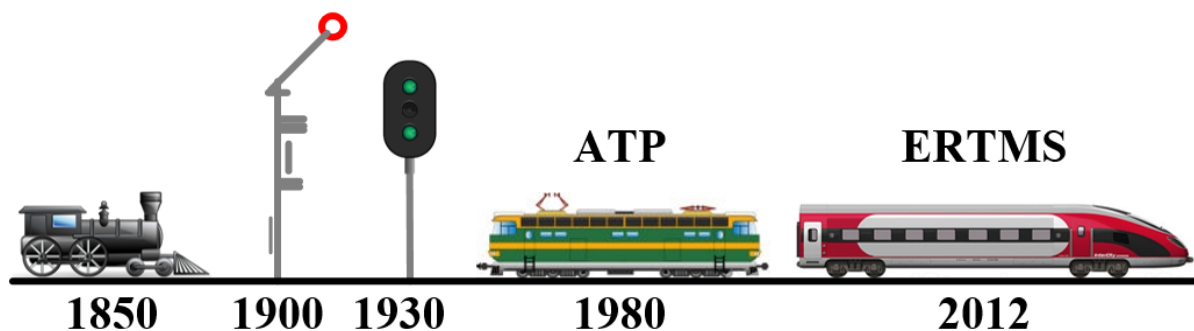


Рис. 2. История развития систем управления движением поездов

Благодаря внедрению и использованию ДЦ–ММ происходит управление объектами зоны мониторинга и контроля через автоматизированное рабочее место поездного диспетчера (АРМ ДЦХ) в режиме диспетчерского управления (ДУ) и через автоматизированное рабочее место дежурного станционного поста централизации, находящегося на станции (АРМ ДСЦП) в режиме местного управления (МУ–Т).

Процедура передачи станции из режима ДУ в режим МУ–Т осуществляется с участием двух работников Службы движения: ДЦХ и ДСЦП в пределах подконтрольной зоны управления. Перевод станции на МУ–Т осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами [49]. Система исключает возможность подачи команд управления с АРМ ДСЦП в режиме ДУ и одновременное управление станций с разных АРМ ДЦХ в режиме ДУ.

Зоны управления ДЦ–ММ – линия метрополитена, станции с путевым развитием и прилегающими перегонами, соединительные ветви и пути электродепо. На рисунке 3 представлен графический пользовательский интерфейс АРМ ДСЦП.

Управление поездной работой в зоне мониторинга и контроля обеспечивается соблюдением максимальной расчетной пропускной способности линии метрополитена в соответствии с ранее составленным инженерами-графистами Службы движения ПГД при автоматическом отображении состояний объектов соответствующего иерархического уровня управления (зоны мониторинга и контроля или некоторого железнодорожного полигона (линии метрополите-

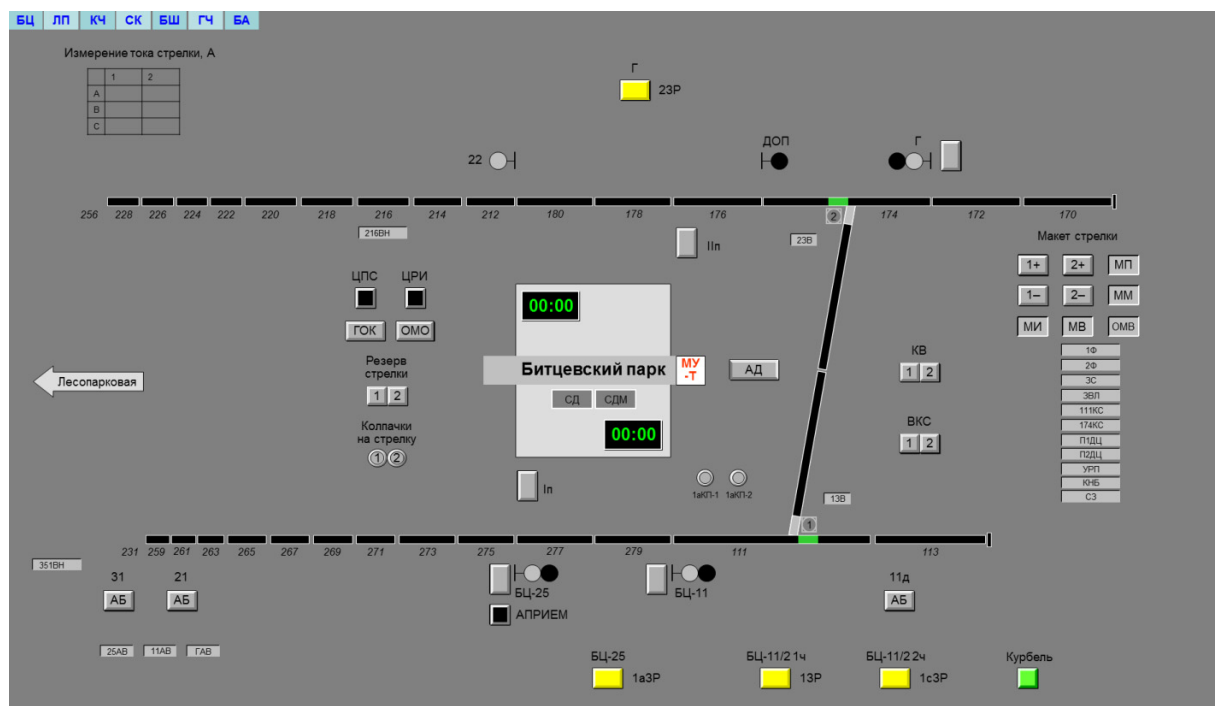


Рис. 3. Графический пользовательский интерфейс АРМ диспетчера поста централизации

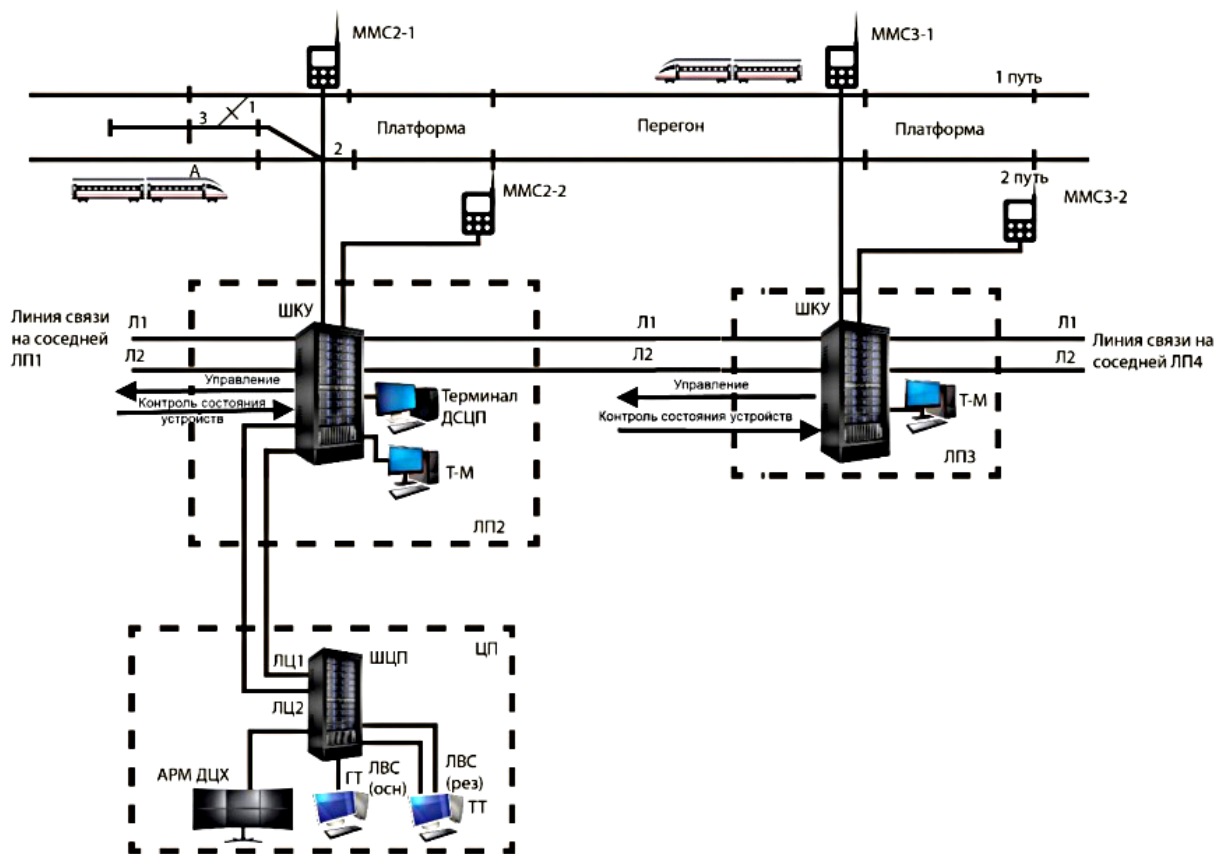


Рис. 4. Структурная схема устройств системы ДЦ–ММ

на)), сложившейся ситуации в движении поездов, предупреждающих сигналах с автоматическим воспроизведением звуковых сообщений.

Подсистемы контроля состояния объектов, логического контроля, мониторинга и диагностики, хранения технологических данных при этом функционируют в автоматическом режиме.

На рисунке 4 представлена структурная схема системы ДЦ–ММ, где:

ММС – модуль мобильной связи;

ШЦП – шкаф центрального поста, представляет собой сервер, осуществляющий обработку информации, приходящей от ШКУ;

ШКУ – шкаф контроля и управления, предназначен для формирования команд управления и обмена этой информацией с ШЦП (состояние напольных устройств, занятость рельсовых цепей, положение стрелок, показания светофоров, кнопочных реле, включение-выключение автоблокировки, наличие курбеля и других устройств);

АРМ ДЦХ – автоматизированное рабочее место поездного диспетчера, предназначенное для управления стрелками и сигналами из диспетчерского центра;

Л1, Л2 – основная и резервная линии связи;

ЛП1, ЛП2, ЛП3 – линейные пункты контроля и управления;

Т–М – терминал механика, предназначенный для мониторинга и диагностики устройств ЭЦ, перегонных устройств и просмотра архивной информации;

ЛЦ – линия связи со шкафом центрального поста;

ГТ – терминал инженера-графиста, предназначенный для формирования и корректировки ПГД;

ТТ – технический терминал, предназначенный для диагностики всех устройств в ДЦ;

ЦП – центральный пост.

Терминал ДСЦП – терминал дежурного по посту централизации, предназначенный для управления стрелками и сигналами, а также для составления маршрутов на станции.

Современные и перспективные системы ДЦ метрополитена могут дополняться функциями:

- автоматизированного отклика работы устройств ДЦ перед началом движения поездов;

- автоматического информирования о регламентных работах;

- автоматизированного составления ПГД;

- автоматизированного построения ГИД;

- составления сводных отчетов о перевозочном процессе;

- автоматизированного формирования и передачи приказов поездного диспетчера;

- получения необходимой справочной информации (по запросу);

- автоматического мониторинга источников бесперебойного питания (ИБП);
- ведения технологического видеонаблюдения за состоянием напольных устройств;

- и др.

Аппаратура системы ДЦ Московского метрополитена обеспечивает непрерывное круглосуточное функционирование с критерием качества «В» [50], допускающим кратковременную потерю выполнения функции и самовосстановление.

При одиночных отказах (сбоях) технических средств ДЦ Московского метрополитена функционирование системы не нарушается. Это обеспечивается за счет резервирования устройств, отвечающих за контроль и управление, серверов управления, узлов связи и каналов передачи данных.

2. Система автоматического считывания номера маршрута поезда

Система автоматического считывания номера маршрута поезда (АСНП–М) обеспечивает передачу с каждой станции (линейного пункта) на центральный пункт к устройствам ДЦ и на ТТ следующей информации [51]:

- номеров маршрутов поездов, головного вагона, находящихся на главных станционных путях;

— признака включения и отключения поездных устройств автоматического регулирования скорости (АРС);

— состояния последней по ходу движения поезда рельсовой цепи (РЦ) на каждом главном станционном пути и состояния смежной с ней РЦ по ходу движения поезда;

— положения стрелки на главном пути промежуточной станции, по которой поезд может уйти на соединительную ветку, в тупик или депо, и состояния стрелочной секции и одной из смежных с ней РЦ.

Система АСНП допускает отображение информации о номерах маршрутов поездов на блок-посту станции.

Система АСНП–М обеспечивает:

— передачу на поезд информации о номере станции и номере пути при проследовании поездом каждой станции;

— считывание с поезда информации о номере его маршрута и состоянии устройств АРС при проследовании поездом каждой станции (номер маршрута вводится в поездные устройства машинистом с наборного многофункционального пульта ПНМ).

Обмен данными между аппаратурой линейных пунктов и аппаратурой в центральном пункте обеспечивается по двум оптико-волоконным линиям связи (ВОЛС) через два порта Ethernet. Имеются два основных и два резервных волокна. В качестве ВОЛС и аппаратуры связи может использоваться оборудование, предусмотренное соответствующими проектами действующих устройств ДЦ.

Время, измеряемое с момента считывания информации с поезда до момента ее приема на центральном посту при числе линейных постов не менее 25, составляет не более 1,0 с.

Обмен данными между поездными и станционными устройствами АСНП обеспечивается через модули мобильной связи (ММС) по двум каналам — в инфракрасном диапазоне и по радиоканалу в диапазоне 434 МГц. Выходная мощность не превышает 1 мВт. Время обмена данными между поездными и станционными ММС в каждом канале — не более 0,1 с при скорости передачи 19 200 Бод в диапазоне 434 МГц и при скорости 57 600 Бод в инфракрасном диапазоне.

В диапазоне 434 МГц станционный модуль ММС обеспечивает вызов поезда по номеру пути движения. Исходно этот номер фиксируется поездными устройствами при вводе машинистом данных с наборного многофункционального пульта (ПНМ). Дальность обмена данными по радиоканалу на частоте 434 МГц составляет до 40 м. Инфракрасный канал — дублирующий. Он обеспечивает узконаправленный безадресный обмен данными с поездом на расстоянии до 15 м.

Основная аппаратура линейного пункта и в центре управления дублируется. При проектировании дублируются ВОЛС и устройства связи (УС).

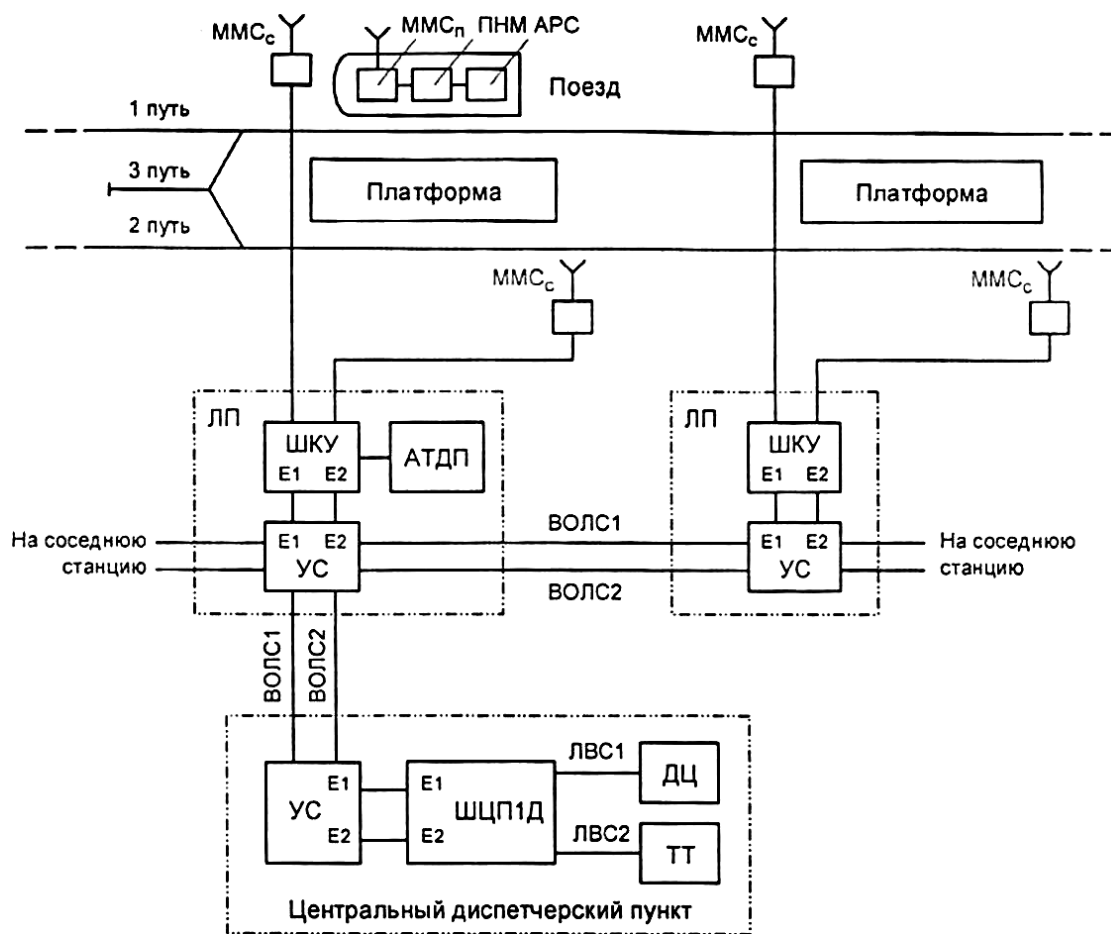


Рис. 5. Структурная схема АСНП

Принцип действия системы АСНП проиллюстрирован структурной схемой (рис. 5). На поезде, находящемся на линии, в контроллере пульта ПНМ [52] записана информация о номере маршрута и номере пути движения поезда. К нему поступает информация о состоянии устройств АРС. Контроллер управляет работой поезда модуля мобильной связи ММСп.

На каждой станции по обоим путям устанавливается стационарный модуль ММСс. Работой стационарных модулей управляет контроллер, размещенный в шкафу ШКУ. Шкаф ШКУ устанавливается в станционном помещении.

Станционные модули ММСс располагаются в зоне знака «Остановка головного вагона» по каждому пути. Они поочередно (примерно через 150 мс) посылают на поезда сообщение, содержащее, в частности, номер пути и название станции. Поездной модуль ММСп начинает принимать это сообщение в диапазоне 434 МГц при нахождении поезда примерно в 40 м от места установки ММСс. В инфракрасном диапазоне прием сообщения начинается примерно в 10–15 м от места установки ММСс.

Сообщение на частоте 434 МГц содержит адресную часть с номером соответствующего пути и информационную часть. Если адрес в сообщении совпа-

дает с номером пути, записанным в поездном контроллере, то содержащаяся в сообщении информация со станции записывается в контроллер пульта ПНМ и отображается на его дисплее.

Сообщения в инфракрасном канале не содержат адресной части, поскольку в зону действия станционного ММСс может попасть только тот поезд, который находится непосредственно перед местом установки модуля ММСс. При расхождении сведений о номере маршрута поезда, полученных в разных каналах, приоритет будет отдан данным, полученным по инфракрасному каналу. Поэтому, если по выходу из электродепо состав не считался по инфракрасному каналу на первой станции, до следующей станции он проследует символьным обозначением, несмотря на то, что радиоканал работает и номер маршрута система получает.

После окончания приема сообщения от станционного ММСс поездной модуль ММСп включается в режим передачи и посылает на линейный пункт ЛП свое сообщение. Оно содержит, в частности, номер маршрута поезда и сведения о состоянии устройств автоматического регулирования скорости (АРС).

На линейном пункте ЛП данные, содержащиеся в принятых станционными модулями ММС сообщениях, передаются по линии и записываются в память контроллеров ШКУ. По этим же линиям обеспечивается электропитание модулей ММС. На станциях, где есть релейные помещения устройств АТДП, к контроллерам ШКУ поступают данные о состоянии рельсовых цепей и стрелок.

Через два порта Ethernet данные от ШКУ поступают в устройства связи УС и передаются ими по основной и резервной линиям ЛВС1 и ЛВС2 (совместно с потоками данных системы ДЦ) в центральный пункт. В центральном пункте эти данные через аналогичные порты поступают от устройств связи УС в шкаф центрального пункта ШЦП. От него необходимые для отображения данные поступают к устройствам ДЦ через локальную вычислительную сеть ЛВС1 системы ДЦ. Персональный компьютер ТТ подключается к ШЦП через другую сеть – ЛВС2.

ТТ служит для контроля работы АСНП–М, включая контроль взаимодействия стационарных и поездных ММС, для чего используется информация о состоянии РЦ и стрелок.

Аппаратура центрального диспетчерского пункта содержит:

- шкаф центрального пункта ШЦП;
- персональный компьютер ТТ.

Аппаратура линейного пункта содержит:

- шкаф линейного пункта типа ШКУ 100 с интегрированной системой АСНП;
- модуль мобильной связи ММС.

Устройства связи ВОЛС подключаются к двум портам Ethernet на линейных пунктах и на центральном пункте.

В кабине машиниста головного вагона поезда располагаются:

- модуль ММС;
- пульт наборный многофункциональный ПНМ.

Наборный многофункциональный пульт предназначен для ввода постоянных характеристик поезда, передаваемых посредством ММС.

3. Микропроцессорная централизация

МПЦ обеспечивает управление с основного или резервного автоматизированного рабочего места дежурного по посту централизации (АРМ ДСЦП). При наличии нескольких зон управления на станциях система обеспечивает управление каждой зоной с соответствующего АРМ ДСЦП.

При этом в системе соблюден принцип единоначалия, т. е. исключена возможность одновременного управления устройствами разными операторами.

Система обеспечивает следующие режимы управления:

- маршрутный – управление путем задания с АРМ ДСЦП основного или составного маршрутов;
- раздельный – поэлементное управление с индивидуальной выдачей на исполнение команд для каждого объекта управления.

По варианту управления:

- первый – управление осуществляется через первый комплект аппаратуры;
- второй – управление осуществляется через второй комплект аппаратуры.

МПЦ обеспечивает выполнение функций управления и контроля состояния объектов, диагностики технического состояния устройств, самодиагностики, протоколирование работы. По требованиям функциональной безопасности и исполнению системы МПЦ, внедряющиеся в Московском метрополитене, соответствуют европейским стандартам CENELEC и СТО РЖД [50].

Первый опыт внедрения МПЦ на Московском метрополитене произошел в 2015 году с продлением Сокольнической линии метро до станции «Саларьево».

Функции контроля и управления:

- контроль положения и режима работы стрелок;
- контроль состояния путей и изолированных участков (занятость, свобода, неисправность);
- контроль состояния (показания, неисправность) светофоров;
- контроль состояния (занятость, свобода) перегонов и участков приближения;
- контроль состояния других устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), приборов обнаружения нагрева букс (ПОНАБ), контрольно-габаритных устройств (КГУ) и других устройств и подсистем;

- контроль состояния устройств электроснабжения;
- отображение на экранах мониторов состояния (включение, выключение и т. п.) объектов контроля и управления;
- задание и отмена маршрутов, включая их искусственное размыкание;
- проверка условий безопасности движения поездов;
- автоматическое посекционное размыкание маршрута, в т. ч. размыкание неиспользованной части маршрута при угловых заездах;
- управление стрелками, светофорами и другими устройствами СЦБ, в т. ч. и направлением движения на перегонах;
- выключение и обратное включение в ЭЦ стрелок;
- автовозврат охранных стрелок в соответствии с проектом (с защитой от кратковременной потери шунта);
- управление аппаратом выдачи стрелочного курбеля;
- выбор и передача сигналов АЛС–АРС;
- взаимодействие с устройствами обдувки и электрообогрева стрелок, оповещения работников на пути и другими устройствами автоматики.

Функции самодиагностики аппаратуры:

- поддержание надежности функционирования аппаратуры на заданном уровне (предусмотрено автоматическое в соответствии с определенным регламентом переключение вычислительных средств при появлении отказов);
- полное тестирование аппаратного и программного обеспечения системы при включении после восстановления работоспособности и при внесении изменений в ее аппаратное и программное обеспечение, а также фоновое тестирование в процессе функционирования.

Функции протоколирования работы системы:

- протоколирование и хранение информации о состоянии объектов контроля, команд управления и действий ДСЦП, сообщений о сбоях и отказах функционирования устройств системы, результатов тестирования, самодиагностики устройств и их регламентных проверок;
- просмотр архива событий на АРМ ДСЦП и АРМ ШН в статическом, пошаговом и динамическом режимах с применением фильтров событий, возможность предоставления протокола событий в виде копии на носителе.

Обработка оперативной информации производится в соответствии с функциональными задачами на общей базе данных, содержащей сведения о состоянии напольных объектов.

Управление стрелками, светофорами, другими объектами СЦБ, задание и отмена маршрутов, выбор режимов управления выполняются ДСЦП с помощью устройств ввода соответствующих команд на АРМ ДСЦП.

ДСЦП получает доступ к управлению объектами только после своей регистрации на рабочем месте и подтверждения устройствами имеющихся у него полномочий [6].

При управлении стрелками в раздельном или маршрутном режиме исключается их перевод при занятом или замкнутом в маршруте путевом участке, в который входит управляемая или спаренная с ней стрелка. Автовозврат охранных стрелок осуществляется с применением защиты от кратковременной потери шунта (выдержка времени).

При управлении светофорами в раздельном или маршрутном режиме исключается:

- открытие поездного светофора, если в маршруте имеется занятый путевой изолированный участок (включая негабаритный), открытие маневрового светофора, если в маршруте есть занятый стрелочный путевой участок;

- открытие светофора, если стрелки (включая охранные), входящие в маршрут, не замкнуты или не имеют контроля требуемого положения;

- сохранение разрешающего показания светофора при потере контроля положения стрелки, входящей в маршрут (включая охранные), а также при занятии любого изолированного путевого участка, входящего в маршрут, за исключением первого участка за светофором и пути в маневровых маршрутах;

- погасшее или не соответствующее требованиям руководящих указаний состояние открытого светофора при перегорании лампы разрешающего огня в течение времени большего, чем время замедления, предусмотренное в системе, на перекрытие светофора с разрешающего показания на запрещающее показание;

- открытое состояние светофора при срабатывании КГУ и устройство контроля схода подвижного состава (УКСПС).

РПЦ исключает установку встречных маршрутов на любой участок пути в горловине станции.

Отмена неиспользованного маршрута выполняется при условии, что все путевые участки, входящие в маршрут, находятся в состоянии «свободен, замкнут», имеется контроль положения входящих в маршрут стрелок, на светофоре, ограждающем отменяемый маршрут, запрещающее показание.

При вступлении подвижного состава за светофор, ограждающий отменяемый маршрут, или нарушении целостности маршрута режим отмены сбрасывается, а маршрут остается замкнутым.

Автоматическое размыкание маршрута происходит только при поочередном занятии и освобождении путевых участков маршрута и выполнении следующих условий:

- размыкание секции происходит только при наличии контроля проследования по двум смежным путевым участкам;

- размыкание неиспользованной части маршрута при угловых заездах выполняется в начале движения в обратную сторону после занятия первого по ходу движения путевого участка и освобождения занятого путевого участка неиспользованной части маршрута.

Включение и выключение устройств пневмоочистки стрелок, оповещения работников на путях выполняется ДСЦП по мере необходимости отпращиванием соответствующей команды с АРМ ДСЦП.

Вспомогательный перевод стрелки производится ДСЦП при условии, что стрелка не замкнута в маршруте, с соблюдением мер по обеспечению безопасности движения поездов.

Искусственное размыкание путевых участков маршрута выполняется в случае невозможности отмены маршрута в штатном режиме, невыполнения автоматического размыкания их после прохода поезда или возникновения неисправности до его прохода. Искусственное размыкание выполняется при условии, что светофор, ограждающий маршрут, закрыт и обеспечена выдержка времени: три минуты для всех участков, находящихся в состоянии искусственного размыкания.

МПЦ в сравнении с централизацией стрелок и светофоров релейного типа имеет ряд преимуществ [1]:

- более высокий уровень надежности за счет дублирования многих узлов, в том числе центрального процессора, являющегося «сердцем» централизации;
- более высокий уровень обеспечения безопасности движения поездов за счет непрерывного обмена информацией между центральным процессорным устройством и объектами управления и контроля;
- повышенная информативность для эксплуатационного и технического персонала о состоянии устройств СЦБ;
- меньшая энергоемкость;
- возможность непрерывного архивирования действий эксплуатационного персонала по управлению объектами СЦБ и всей поездной ситуацией на станции, с последующим анализом необходимых ситуаций;
- встроенный диагностический контроль состояния аппаратных средств централизации и объектов управления и контроля;
- возможность регистрации номеров поездов, следующих через станцию, и всех отказов устройств СЦБ на станции и перегоне;
- значительно меньшие габариты оборудования и, как следствие, в три-четыре раза меньший объем помещений для его размещения;
- значительно меньший объем строительно-монтажных работ;
- пониженные затраты на эксплуатационное обслуживание;
- возможность замены на станциях централизаций устаревшего типа без строительства новых постов ЭЦ.

Таким образом, составленный обзор в деталях показывает, что системы МПЦ перспективны для качественного и эффективного использования на любых железнодорожных транспортных предприятиях. В передовых железнодорожных вузах преподаватели совместно с обучающимися ведут разработку лабораторных стендов для изучения принципов работы МПЦ [53]. В связи с этим вы-

сказывается рекомендация о расширении ведущими вузами соответствующей лабораторной базы.

Заключение

В статье выполнен обзор известных систем обеспечения безопасности движения поездов с учетом зарубежного (евроазиатского) опыта. Рассмотрены вопросы функционирования микропроцессорных систем управления в метрополитенах в отечественной практике, преимущественно на примере использования систем Московского метрополитена. В частности, рассмотрена система ДЦ–ММ, обеспечивающая безопасность движения поездов. Отмечена высокая роль этой и аналогичных систем для повышения значений ряда общепринятых показателей качества работы, таких как стоимость оборудования, уровень обслуживания, пропускная способность участков линий метрополитена, эффективность управления поездами, безопасность, надежность, доступность, пунктуальность, расход электроэнергии, совместимость.

Анализ работ ученых и разработчиков из исследовательских институтов Российской Федерации и зарубежных научных организаций показал, что упомянутые критерии качества микропроцессорных систем обладают заметным единством. Надежность работы устройств ДЦ достигается за счет того, что при одиночных отказах (сбоях) технических средств ДЦ метрополитена функционирование системы не нарушается. Это обеспечивается резервированием устройств, отвечающих за контроль и управление, серверов управления, узлов связи, а также каналов передачи данных.

Выполнен детализированный обзор структуры, функций и принципов работы системы автоматического считывания номера маршрута поезда, которая передает с подвижного состава на центральный пункт к устройствам ДЦ и на ТТ полезную и избыточную информацию. Сделан также обзор системы микропроцессорной централизации, режимов ее работы, функций контроля и управления, самодиагностики аппаратуры, протоколирования работы [54], реализация которых, бесспорно, повышает надежность функционирования технических средств, безопасность движения поездов, информативность диагностики, сокращает размеры занимаемых помещений и затраты на эксплуатацию.

Полученные результаты анализа функционирования систем МПЦ коррелируют с результатами исследования, полученными [1], а также зарубежными авторами. Рекомендовано развитие лабораторной базы железнодорожных вузов, которая позволит изучать рассмотренные в статье системы, повышать квалификацию персонала, работающего с ними и обслуживающего их. Специалисты смогут исследовать и развивать эти системы, улучшать показатели эффективности работы, адаптируя под специфические условия функционирования и унифицируя перечень компонентов, входящих в состав систем, подготавливая весь

аппарат диспетчеризации в целом к тотальному переходу от релейных устройств к микропроцессорным.

Библиографический список

1. *Шерстюков О. С.* Преимущества микропроцессорных централизаций перед релейными системами управления движением поездов на станциях / О. С. Шерстюков // Человек и общество в системе современных научных парадигм. – 2019. – № 1. – С. 32–35.
2. *Лаврик В. В.* Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитена / В. В. Лаврик. – М.: Транспорт, 1977. – 135 с.
3. *Баранов Л. А.* Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов, Я. М. Головичер, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов; под ред. Баранова Л. А. – М.: Транспорт, 1990. – 305 с.
4. *Ковкин А. Н.* Бесконтактное управление светофорами в системе микропроцессорной централизации МПЦ-МПК / А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 307–325.
5. *Порошков В. С.* Модернизация рельсовых цепей в системах микропроцессорной централизации / В. С. Порошков // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. – 2019. – № 1. – С. 48–52.
6. Правила технической эксплуатации метрополитенов. – М.: ЗАО Издательский центр ТА Инжиниринг, 2003. – 109 с.
7. Военное обозрение. Крупнейшая авария в истории московского метро: как это было и кто ответил. – URL: <https://topwar.ru/160102-krupnejshaja-avarija-v-istorii-moskovskogo-metro-kak-jeto-bylo-i-kto-otvetil.html> (дата обращения: 29.03.2020 г.).
8. *Ning B.* Advanced Train Control Systems / B. Ning. – Southampton: WIT Press, 2010. – 158 p.
9. *Durmus M. S.* The application of automation theory to railway signaling systems: the Turkish national railway signaling project / M. S. Durmus, U. Yildirim M. T. Soylemez // Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. – 2013. – Vol. 19, Iss. 5. – P. 216–223. DOI: 10.5505/pajes.2013.14633.
10. *Шкуринов В. В.* Анализ работы аппаратно-программных средств микропроцессорных систем в сравнении с традиционными (релейными) системами электрической централизации / В. В. Шкуринов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2014. – № 1. – С. 24–26.
11. *Шагиахметов Д. Р.* Особенности внедрения микропроцессорных систем централизации / Д. Р. Шагиахметов, Б. С. Байкенов, Ж. Т. Джулаева, А. Е. Касымова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2016. – № 1. – С. 65–65.
12. *Сулейменова Г. А.* Проблемные аспекты разработки национальной системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов МПЦ-КАЗАТК / Г. А. Сулейменова, М. Б. Орунбеков // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2017. – № 2. – С. 29–32.
13. *Шульц В. А.* Повышение пропускной способности участка дистанции сигнализации и связи путем применения современной системы диспетчерской централизации – «СЕ-ТУНЬ» / В. А. Шульц, К. Б. Бахытбекова // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы XLII Международной научно-практической конференции КазАТК им. М. Тынышпаева. – 2018. – Т. 3. – С. 49–53.

14. *Laroche F.* European rail traffic management system (ERTMS): supporting competition on the European rail network? / F. Laroche, L. Guihery // *Research in Transportation Business and Management*. – 2013. – N 6. – P. 81–87.
15. *Cappart Q.* Verification of interlocking systems using statistical model checking / Q. Cappart, C. Limbree, P. Schaus, J. Quilbeuf, L.-M. Traonouez, A. Legay // *IEEE 18th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE)*. – 2017. – P. 61–68.
16. *Pachl J.* *Railway Operation and Control*. 4th edition / J. Pachl. – Washington: VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace, 2018. – 302 p.
17. *Ferrari A.* The Metrô Rio case study / A. Ferrary, A. Fantechi, G. Magnani, D. Grasso, M. Tempestini // *Science of Computer Programming*. – 2013. – Vol. 78. – P. 828–842.
18. *Fantechi A.* Formal methods for railway control systems / A. Fantechi, F. Flammini, S. Gnesi // *International Journal of Software Tools for Technology Transfer*. – 2014. – Vol. 16. – P. 643–646.
19. *Laapotti V.* Comparison of fatal motor vehicle accidents at passive and active railway level crossings in Finland / V. Laapotti // *IATSS Researches*. – 2016. – Vol. 40. – P. 1–6.
20. *Forsberg R.* Conditions affecting safety on the Swedish railway – train drivers’ experiences and perceptions / R. Forsberg // *Safety Science*. – 2016. – Vol. 85. – P. 53–59.
21. *Fernández-Rodríguez A.* Design of Robust and Energy-Efficient ATO Speed Profiles of Metropolitan Lines Considering Train Load Variations and Delays / A. Fernández-Rodríguez, A. Fernández-Cardador, A. P. Cucala, M. Domínguez, T. Gonsalves // *IEEE Transport. Intellectual Transportation Systems*. – 2015. – Vol. 16, N 4. – P. 2061–2071.
22. *Miyoshi M.* Development of an energy efficient train traffic control system for saving electricity / M. Miyoshi, T. Takeba, M. Miyatake // *WIT Trans Built Environ*. – 2012. – Vol. 127. – P. 499–510.
23. Урбанистический «Кот Шредингера». Зачем Москва перенимает опыт других столиц. – URL: <https://www.forbes.ru/biznes-photogallery/347433-urbanisticheskiy-kot-shredingera-zachem-moskva-perenimaet-opyt-drugih> (дата обращения: 29.03.2020 г.).
24. Собянин открыл Единый диспетчерский центр метро на севере Москвы. – URL: <https://tass.ru/moskva/6960663> (дата обращения: 29.03.2020 г.).
25. *Сидоренко В. Г.* Система поддержки принятия решения поездного диспетчера метрополитена / В. Г. Сидоренко // *Датчики и системы*. – 2001. – № 10. – С. 21–26.
26. *Баранов Л. А.* Тренажер поездных диспетчеров линий Московского метрополитена / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // *Железные дороги мира*. – 2002. – № 8. – С. 64.
27. *Баранов Л. А.* Синтез законов централизованного управления движением поездов на линии метрополитена на базе имитационной модели / Л. А. Баранов, Л. Н. Воробьева // *Вестник МИИТ*. – 2004. – № 11. – С. 3.
28. *Балакина Е. П.* Автоматика выполняет функции диспетчера / Е. П. Балакина // *Мир транспорта*. – 2008. – Т. 6, № 2. – С. 104–109.
29. *Логонова Л. Н.* Роль системы автоматизированной проверки знаний поездных диспетчеров линии метрополитена в повышении качества обучения / Л. Н. Логонова // *Наука и техника транспорта*. – 2011. – № 1. – С. 62–65.
30. *Баранов Л. А.* Тренажер поездного диспетчера линии метрополитена / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов, Д. Б. Васьков // *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. – 2012. – № 10. – С. 32.
31. *Баранов Л. А.* Беспилотная система управления движением поездов как составляющая цифровизации городского транспорта / Л. А. Баранов // *Автоматика на транспорте*. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 441–449.
32. *Сапожников Вл. В.* Микропроцессорные системы централизации / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Про-

- кофьев, М. С. Трясов. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 398 с.
33. Сапожников В. В. Особенности расчета и проектирования электроснабжения постов микропроцессорной централизации / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, А. Б. Никитин, В. А. Шагохин // Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта. Elltrans 2013. Тезисы докладов Седьмого международного симпозиума Elltrans 2013. – СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 80–81.
 34. Krnac E. An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model / E. Krnac, B. Djordjevic // European Transport Research Review. – 2017. – N 9. – P. 35. DOI: 10.1007 / s12544-017-0253-9
 35. Emery D. Towards a versatile European driver advisory system / D. Emery // WIT Transactions on the Built Environment. – 2014. – Vol. 135. – P. 365–374.
 36. Fauser J. Dependability in open proof software with hardware virtualization – The railway control systems perspective / J. Fauser, J. Peleska // Science of Computer Programming. – 2014. – Vol. 91. – P. 188–210.
 37. Ghazel M. Formalizing a subset of ERTMS / ETCS specifications for verification purposes / M. Ghazel // Transportation Research Conference. – 2014. – Vol. 42. – P. 60–75.
 38. Bersani C. Rapid, robust, distributed evaluation and control of train scheduling on a single line track / C. Bersani, S. Qiu, R. Sacile, M. Sallak, W. Schon // Control Engineering Practice. – 2015. – Vol. 35. – P. 12–21.
 39. Zhu L. Communication-based train control (CBTC) systems with cooperative relaying: design and performance analysis / L. Zhu, F. R. Yu, B. Ning, T. Tang // IEEE Transport. Vehicular Technologies. – 2014. – Vol. 63, N 5. – P. 2162–2172.
 40. Carvajal-Carreño W. Fuzzy train tracking algorithm for the energy efficient operation of CBTC equipped metro lines / W. Carvajal-Carreño, A. P. Cucala, A. Fernández-Cardador // Engineering Application of Artificial Intelligence. – 2016. – Vol. 53. – P. 19–31.
 41. Wang J. Research on parallel control mechanism and its implementation in ATP / J. Wang, Y. Li, Y. Zhang // IEEE Transport. Intellectual Transportation Systems. – 2016. – Vol. 17, N 6. – P. 1652–1662.
 42. Railway Signalling. The ERTMS / ETCS signalling system. – URL: <http://www.railwaysignalling.eu/> (дата обращения: 29.03.2020).
 43. Системы управления движением поездов «Диалог». – URL: <https://asi-rzd.ru/nomera/2016-7/sistemi-upravleniya-dvijeniem-poezdov-dialog> (дата обращения: 29.03.2020 г.).
 44. Карвацкий С. Б. Диспетчерская централизация системы «Нева» / С. Б. Карвацкий, Н. Г. Егоренков, Н. Ф. Пенкин. – М.: Транспорт, 1973. – 216 с.
 45. Переборов А. С. Диспетчерская централизация: учебник для вузов / А. С. Переборов, О. К. Дрейман, Л. Ф. Кондратенко; под ред. В. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1989. – 303 с.
 46. Гавзов Д. В. Системы диспетчерской централизации: учебник для вузов / Д. В. Гавзов, О. К. Дрейман, В. А. Кононов, А. Б. Никитин; под ред. В. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2002. – 407 с.
 47. Карвацкий С. Б. Новые системы диспетчерской централизации / С. Б. Карвацкий, Н. Ф. Пенкин. – М.: Транспорт, 1971. – 216 с.
 48. Сапожников В. В. Концентрация и централизация оперативного управления движением поездов / В. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, А. Б. Никитин. – М.: Транспорт, 2002. – 102 с.
 49. «Порядок передачи на МУ станции». – Указания начальника Московского метрополитена № 921 от 17.12.2004 г.; № 967 от 29.12.2004 г.

50. Категории стандартов. В зависимости от того, кто является сторонами (участниками) стандартизации, к какому географическому региону. – URL: <http://helpiks.org/1-117554.html> (дата обращения: 29.03.2020 г.).
51. Новиков В. Г. Диспетчерская централизация московского метрополитена: учебное пособие / В. Г. Новиков, А. И. Сафронов, А. А. Валвенкин, А. Ю. Ярославцев, Б. В. Горельшев, В. П. Зосимов. – М.: Российский университет транспорта (МИИТ), 2019. – 130 с.
52. Парсаков А. Система АСНП–М / А. Парсаков // Мое метро. – 2019. – № 7. – С. 9.
53. Артамонова А. А. Подготовка учебного стенда МПЦ / А. А. Артамонова // Труды 78-й студенческой научно-практической конференции РГУПС. – Воронеж: филиал РГУПС, 2019. – С. 15–18.
54. Новиков В. Г. Перспективы внедрения микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на Московском метрополитене / В. Г. Новиков; под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гогричани // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Часть 2. – М.: РАС, 2019. – С. 300.

V. G. Novikov

A. I. Safronov

V. A. Kuzyukov

The departments of "Automation, Remote Control and Telecommunication on Railway Transport", and "Control and Information Protection", Russian University of Transport (MIIT), Moscow

MICROPROCESSOR-BASED TRAIN CONTROL SYSTEMS FOR THE MOSCOW SUBWAY

The paper is an overview of the microprocessor-based interlocking systems implemented on the Moscow subway.

The introduction of microprocessor-based control systems and ensuring the safety of train traffic on the Moscow subway is due to the need to replace obsolete relay electric interlocking systems. Such systems were developed and implemented on the subway back in 60–80s of the past century. Microprocessor-based systems have been chosen for use on the Moscow subway based on a previous detailed analysis of global experience. It was known that purchasing and installing microprocessor-based control systems would be cost-effective.

The microprocessor-based control systems related to subway train traffic comprise dispatch interlocking systems, relay and processor interlocking, microprocessor interlocking, as well as train traffic interval control systems based on the use of the generation IV tonal track circuits. Microprocessor-based interlocking systems operate continuously in real time. They provide automatic collection of information about the state of monitored interlocked elements while controlling them in real time.

This article analyzes the Eurasian experience of using train traffic control systems with a classification diagram of existing varieties of such systems drawn up on its basis. The image of the graphical user interface of an interlocking station dispatcher's automated workstation is shown on the example of the Bittsevsky Park station, Butovskaya line. A dispatch interlocking structural diagram of the Moscow subway is presented with a breakdown into interconnected modules and a system's detailed

description. The place of microprocessor-based interlocking systems in the educational process of leading railway universities is indicated.

Train traffic safety, microprocessor-based interlocking systems, Moscow subway, dispatch interlocking, automatic train route number reading system

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-268-293

References

1. *Sherstyukov O. S.* (2019) Preimushchestva mikroprotssessornykh tsentralizatsiy pered releynymi sistemami upravleniya dvizheniyem poyezdov na stantsiyakh [Advantages of microprocessor-based interlocking over relay train control systems at stations]. *Chelovek i obshchestvo v sisteme sovremennykh nauchnykh paradigm* [Man and society in the system of contemporary scientific paradigms], 2019, no. 1, pp. 32–35. (In Russian)
2. *Lavrik V. V.* (1977) Elektricheskaya tsentralizatsiya strelok i signalov metropolitena [Metro electrical interlocking control]. Moscow, Transport Publ., 1977, 135 p. (In Russian)
3. *Baranov L. A., Golovicher Ya. M., Erofeev E. V. & Maksimov V. M.* (1990) Mikroprotssessornyie sistemy avtovedeniya elektropodvizhnogo sostava [Microprocessor-based systems for automatic control of electric rolling stock]. Ed. by Baranov L. A. Moscow, Transport Publ., 1990, 305 p. (In Russian)
4. *Kovkin A. N.* (2019) Beskontaknoye upravleniye svetoforami v sisteme mikroprotssessornoy tsentralizatsii MPTs-MPK [Contactless control of traffic lights in the microprocessor-based computer interlocking system MPTs-MPK]. *Avtomatika na transporte* [Automatic Equipment in Transport], 2019, vol. 5, no. 3, pp. 307–325. (In Russian)
5. *Poroshkov V. S.* (2019) Modernizatsiya rel'sovykh tsepey v sistemakh mikroprotssessornoy tsentralizatsii [Upgrading track circuits in microprocessor-based interlocking systems]. *Strategii i trendy razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh* [Strategies and trends in the development of science in modern environment], 2019, no. 1, pp. 48–52. (In Russian)
6. (2003) *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii metropolitenov* [Rules for Technical Operation of Subways]. Moscow, ZAO Izdatel'skiy tsentr "TA Inzhiniring" ["TA Engineering" Publishing Center CJSC] Publ., 2003, 109 p. (In Russian)
7. *Voyennoye obozreniye. Krupneyshaya avariya v istorii moskovskogo metro: kak eto bylo i kto otvetil* [Military Review. The biggest accident in the history of the Moscow metro: how it happened and who was responsible]. URL: <https://topwar.ru/160102-krupnejshaja-avariya-v-istorii-moskovskogo-metro-kak-jeto-bylo-i-kto-otvetil.html> (accessed: 29.03.2020). (In Russian)
8. *Ning B.* (2010) Advanced Train Control Systems. Southampton, WIT Press, 2010, 158 p.
9. *Durmus M. S., Yildirim U., Soylemez M. T.* (2013) The application of automation theory to railway signaling systems: the Turkish national railway signaling project. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2013, vol. 19, iss. 5, pp. 216–223. DOI: 10.5505/pajes.2013.14633
10. *Shkurinov V. V.* (2014) Analiz raboty apparatno-programmnykh sredstv mikroprotssessornykh sistem v sravnenii s traditsionnymi (releynymi) sistemami elektricheskoy tsentralizatsii [Analysis of the operation of hardware and software of microprocessor-based systems in comparison with traditional (relay-based) electric interlocking systems]. *Bulletin of Belarusian State University of Transport: Science and Transport*, 2014, no. 1, pp. 24–26. (In Russian)
11. *Shagiakhmetov D. R., Baykenov B. S., Dzhulayeva Zh. T. & Kasymova A. E.* (2016) Osobennosti vnedreniya mikroprotssessornykh sistem tsentralizatsii [Specific features of

- the implementation of microprocessor-based interlocking systems]. *The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev*, 2016, no. 1, pp. 65–65. (In Russian)
12. *Suleymenova G. A. & Orunbekov M. B.* (2017) Problemnyye aspekty razrabotki natsional'noy sistemy mikroprotssessornoy tsentralizatsii strelok i signalov MPTS-KAZATK [Problematic aspects of the development of a national microprocessor-based computer interlocking system MPTS-KazATC]. *Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy i puti ikh resheniya* [Modern Science: Current Problems and Ways to Solve Them], 2017, no. 2, pp. 29–32. (In Russian)
 13. *Shul'its V. A. & Bakhytbekova K. B.* (2018) Povysheniye propusknoy sposobnosti uchastka distantsii signalizatsii i svyazi putem primeneniya sovremennoy sistemy dispetcherskoy tsentralizatsii – “SETUN” [Increasing the throughput of the signaling and communication distance section through the use of a modern dispatch interlocking system “SETUN”]. *Innovatsionnyye tekhnologii na transporte: obrazovaniye, nauka, praktika* [Innovative technologies in transport: education, science, practice]. *Materialy XLII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii KazATK im. M. Tynyshpaeva* [Proceedings of the XLII International Scientific and Practical Conference of KazATC n. a. M. Tynyshpaev], 2018, vol. 3, pp. 49–53. (In Russian)
 14. *Laroche F. & L. Guihery* (2013) European rail traffic management system (ERTMS): supporting competition on the European rail network? *Research in Transportation Business and Management*, 2013, no. 6, pp. 81–87.
 15. *Cappart Q., Limbree C., Schaus P., Quilbeuf J., Traonouez L.-M. & Legay A.* (2017) Verification of interlocking systems using statistical model checking. *IEEE 18th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE)*, 2017, pp. 61–68.
 16. *Pachl J.* (2018) *Railway Operation and Control*. 4th edition. Washington, VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace, 2018, 302 p.
 17. *Ferrari A., Fantechi A., Magnani G., Grasso D. & Tempestini M.* (2013) The Metrô Rio case study. *Science of Computer Programming*, 2013, vol. 78, pp. 828–842.
 18. *Fantechi A., Flammini F. & Gnesi S.* (2014) Formal methods for railway control systems. *International Journal of Software Tools for Technology Transfer*, 2014, vol. 16, pp. 643–646.
 19. *Laapotti V.* (2016) Comparison of fatal motor vehicle accidents at passive and active railway level crossings in Finland. *IATSS Researches*, 2016, vol. 40, pp. 1–6.
 20. *Forsberg R.* (2016) Conditions affecting safety on the Swedish railway – train drivers' experiences and perceptions. *Safety Science*, 2016, vol. 85, pp. 53–59.
 21. *Fernández-Rodríguez A., Fernández-Cardador A., Cucala A. P., Domínguez M. & Gonsalves T.* (2015) Design of Robust and Energy-Efficient ATO Speed Profiles of Metropolitan Lines Considering Train Load Variations and Delays. *IEEE Transport. Intellectual Transportation Systems*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 2061–2071.
 22. *Miyoshi M., Takeba T. & Miyatake M.* (2012) Development of an energy efficient train traffic control system for saving electricity. *WIT Trans Built Environ*, 2012, vol. 127, pp. 499–510.
 23. Urbanisticheskiy “Kot Shryodingera”. *Zachem Moskva perenimayet opyt drugikh stolits* [Urban “Schrödinger's cat”. Why is Moscow adopting the experience of other capitals]. URL: <https://www.forbes.ru/biznes-photogallery/347433-urbanisticheskiy-kot-shredingera-zachem-moskva-perenimaet-opyt-drugih> (accessed: 29.03.2020). (In Russian)
 24. *Sobyanin otkryl Edinyy dispetcherskiy tsentr metro na severe Moskvyy* [Sobyanin opens the Unified Metro Dispatch Center in the north of Moscow]. URL: <https://tass.ru/moskva/6960663> (accessed: 29.03.2020). (In Russian)
 25. *Sidorenko V. G.* (2001) Sistema podderzhki prinyatiya resheniya poyezdnogo dispetchera metropolitena [Subway train dispatcher decision support system]. *Datchiki i sistemy* [Sensors & Systems], 2001, no. 10, pp. 21–26. (In Russian)

26. Baranov L. A. & Sidorenko V. G. (2002) Trenazhyor poyezdnykh dispetcherov linii Moskovskogo metropolitena [Simulator for train dispatchers of Moscow metro lines]. *Zheleznyye dorogi mira* [Railways of the world], no. 8, pp. 64. (In Russian)
27. Baranov L. A. & Vorob'yeva L. N. (2004) Sintez zakonov tsentralizovannogo upravleniya dvizheniyem poyezdov na linii metropolitena na baze imitatsionnoy modeli [Synthesis of the train traffic interlocking control laws on subway lines based on a simulation model]. *Bulletin of MIIT*, 2004, no. 11, pp. 3. (In Russian)
28. Balakina E. P. (2008) Avtomatika vpolnyayet funktsii dispetchera [Automation performing the dispatcher functions]. *World of Transport and Transportation*, 2008, no. 6, no. 2, pp. 104–109. (In Russian)
29. Loginova L. N. (2011) Rol' sistemy avtomatizirovannoy proverki znaniy poyezdnykh dispetcherov linii metropolitena v povyshenii kachestva obucheniya [The role of the subway train dispatcher automated knowledge testing system in improving the quality of training]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology in Transport], 2011, no. 1, pp. 62–65. (In Russian)
30. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Erofeev E. V., Maksimov V. M. & Vas'kov D. B. (2012) Trenazhyor poyezdnogo dispetchera linii metropolitena [Simulator for a subway line train dispatcher]. *Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*, 2012, no. 10, pp. 32. (In Russian)
31. Baranov L. A. (2019) Bepilotnaya sistema upravleniya dvizheniyem poyezdov kak sostavlyayushchaya tsifrovizatsii gorodskogo transporta [Unmanned train control system as a component of urban transport digitalization]. *Avtomatika na transporte* [Automatic Equipment in Transport], 2019, vol. 5, no. 4, pp. 441–449. (In Russian)
32. Sapozhnikov V. V., Kononov V. A., Kurenkov S. A., Lykov A. A. et al. (2008) Mikroprotsessornyye sistemy tsentralizatsii [Microprocessor-based interlocking systems]. Moscow, Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Railway educational training center] Publ., 2008, 398 p. (In Russian)
33. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V., Nikitin A. B. & Shatokhin V. A. (2013) Osobennosti raschyota i proyektirovaniya elektrosnabzheniya postov mikroprotsessornoy tsentralizatsii [Specific features of calculation and design of power supply for microprocessor-based interlocking stations]. *Elektrifikatsiya i razvitiye infrastruktury energoobespecheniya tyagi poyezdov skorostnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta. Tezisy dokladov Sed'mogo mezhdunarodnogo simpoziuma Elltrans 2013* [Electrification and development of power supply infrastructure for traction of rapid and high-speed rail transport. Abstracts of the Seventh International Symposium Elltrans 2013]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2013, pp. 80–81. (In Russian)
34. Krmac E. & Djordjevic B. (2017) An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model. *European Transport Research Review*, 2017, no. 9, pp. 35. DOI: 10.1007/s12544-017-0253-9
35. Emery D. (2014) Towards a versatile European driver advisory system. *WIT Transactions on the Built Environment*, 2014, vol. 135, pp. 365–374.
36. Fauser J. & Peleska J. (2014) Dependability in open proof software with hardware virtualization – The railway control systems perspective. *Science of Computer Programming*, 2014, vol. 91, pp. 188–210.
37. Ghazel M. (2014) Formalizing a subset of ERTMS / ETCS specifications for verification purposes. *Transportation Research Conference*, 2014, vol. 42, pp. 60–75.
38. Bersani C., Qiu S., Sacile R., Sallak M. & Schon W. (2015) Rapid, robust, distributed evaluation and control of train scheduling on a single line track. *Control Engineering Practice*, 2015, vol. 35, pp. 12–21.

39. Zhu L., Yu F.R., Ning B. & Tang T. (2014) Communication-based train control (CBTC) systems with cooperative relaying: design and performance analysis. *IEEE Transport. Vehicular Technologies*, 2014, vol. 63, no 5, pp. 2162–2172.
40. Carvajal-Carreño W., Cucala A.P. & Fernández-Cardador A. (2016) Fuzzy train tracking algorithm for the energy efficient operation of CBTC equipped metro lines. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 2016, vol. 53, pp. 19–31.
41. Wang J., Li Y. & Zhang Y. (2016) Research on parallel control mechanism and its implementation in ATP. *IEEE Transport. Intellectual Transportation Systems*, 2016, vol. 17, no. 6, pp. 1652–1662.
42. *Railway Signalling. The ERTMS / ETCS signalling system*. URL: <http://www.railwaysignalling.eu/> (accessed: 29.03.2020).
43. *Sistemy upravleniya dvizheniyem poyezdov "Dialog"* [Train traffic control systems "Dialog"]. URL: <https://asi-rzd.ru/nomera/2016-7/sistemi-upravleniya-dvijeniem-poezdov-dialog> (accessed: March 29, 2020). (In Russian)
44. Karvatskiy S. B., Egorenkov N. G. & Penkin N. F. (1973) Dispetcherskaya tsentralizatsiya sistemy "Neva" [Dispatch interlocking of the "Neva" system]. Moscow, Transport Publ., 1973, 216 p. (In Russian)
45. Pereborov A. S., Dreiman O. K. & Kondratenko L. F. (1989) Dispetcherskaya tsentralizatsiya: uchebnik dlya vuzov [Dispatch interlocking: textbook for universities]. Edited by V. V. Sapozhnikov. Moscow, Transport Publ., 1989, 303 p. (In Russian)
46. Gavzov D. V., Dreiman O. K., Kononov V. A. & Nikitin A. B. (2002) Sistemy dispetcherskoy tsentralizatsii: uchebnik dlya vuzov [Dispatch interlocking systems: textbook for universities]. Edited by V. V. Sapozhnikov. Moscow, Marshrut Publ., 2002, 407 p. (In Russian)
47. Karvatskiy S. B. & Penkin N. F. (1971) Novyye sistemy dispetcherskoy tsentralizatsii [New dispatch interlocking systems]. Moscow, Transport Publ., 1971, 216 p. (In Russian)
48. Sapozhnikov V. V., Gavzov D. V. & Nikitin A. B. (2002) Kontsentratsiya i tsentralizatsiya operativnogo upravleniya dvizheniyem poyezdov [Concentration and centralization of train traffic operational management]. Moscow, Transport Publ., 2002, 102 p. (In Russian)
49. *Poryadok peredachi na MU stantsii* [The order of transmission to a station control bus]. Instructions of the Head of the Moscow Metro No. 921 dated December 17, 2004. No. 967 dated December 29, 2004. (In Russian)
50. *Kategorii standartov. V zavisimosti ot togo, kto yavlyayetsya storonami (uchastnikami) standartizatsii, k kakomu geograficheskomu regionu* [Categories of standards depending on the parties (participants) of standardization, and the geographic regions they are attributed to]. URL: <http://helpiks.org/1-117554.html> (accessed: March 29, 2020). (In Russian)
51. Novikov V. G., Safronov A. I., Valvenkin A. A., Yaroslavtsev A. YU., Gorelyshev B. V. & Zosimov V. P. (2019) Dispetcherskaya tsentralizatsiya moskovskogo metropolitena: uchebnoye posobiye [Dispatch interlocking of the Moscow metro: Training manual]. Moscow, MIIT Publ., 2019, 130 p. (In Russian)
52. Parsakov A. (2019) Sistema ASNP–M [ASNP–M system for train number automatic reading]. *Moye metro* [My Metro corporate journal], 2019, no. 7, pp. 9. (In Russian)
53. Artamonova A. A. (2019) Podgotovka uchebnogo stenda MPTs [Preparation of the training simulator for microprocessor-based computer interlocking system]. *Trudy 78-y studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of the 12th Students Scientific and Practical Conference held by RSTU]. Voronezh, RSTU Branch Publ., 2019, pp. 15–18. (In Russian)
54. Novikov V. G. (2019) Perspektivy vnedreniya mikroprotsessornykh sistem upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poyezdov na Moskovskom metropolitene [Prospects for the introduction of microprocessor-based control systems and ensuring the train traffic

safety on the Moscow metro]. *Aktual'nyye voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii k 75-letiyu aspirantury Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Relevant issues of the development of railway transport. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of the postgraduate programme at the Railway Research Institute]. Part 2. Ed. by A. B. Kosarev, G. V. Gogrichiani. Moscow, RAS Publ., 2019, pp. 300. (In Russian)*

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Л. А. Барановым
Поступила в редакцию 20.02.2020, принята к публикации 14.04.2020*

НОВИКОВ Вячеслав Геннадьевич — доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ)

e-mail: 9268888805@mail.ru

САФРОНОВ Антон Игоревич — доцент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (МИИТ)

e-mail: safronov-ai@mail.ru

КУЗЮКОВ Василий Александрович — доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ)

e-mail: Super-1990@yandex.ru

© Новиков В. Г., Сафронов А. И., Кузюков В. А., 2020