

Из истории автоматики

УДК 004.652.4:004.658.3:004.657

Никкульчиков П. М.

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДАМИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Статья посвящена описанию современного состояния систем автоматического управления поездами метрополитена. Приводится классификация существующих систем по уровню автоматизации, согласно Международной ассоциации общественного транспорта, а также по другим критериям. Описывается мировой и российский опыт внедрения систем и классификация внедренных многочисленными разработчиками решений по уровням автоматизации. Приводится типовая трехуровневая архитектура систем, описано функциональное предназначение всех уровней. Представлено описание и схема расположения перегонного оборудования систем на примере меток радиочастотной идентификации. Приведена архитектура аппаратно-программных средств центрального поста автоведения. Освещено современное состояние систем автоведения на линиях Петербургского метрополитена. В статье раскрываются технологические предпосылки для развития систем автоматического управления поездами метрополитена и алгоритмы работы аппаратуры автоведения при прицельном торможении на станции и проследовании перегонов.

автоведение; системы автоматического управления поездами метрополитена; Петербургский метрополитен; график движения поездов; межпоездные интервалы; стоянка; нагон; алгоритмы автоведения; центральный пост автоведения; бортовая аппаратура автоведения; станционная аппаратура автоведения

Введение

Все время существования железнодорожного транспорта, в том числе подземного, он развивался по пути повышения экономической эффективности и безопасности движения. Одним из таких направлений было постоянное стремление к автоматизации труда машиниста электропоезда и поездного диспетчера, к избавлению сотрудников от рутинной работы и технологического процесса от влияния «человеческого фактора». Идеальными

системами, в представлении многих инженеров, являлись системы автоведения и автодиспетчера, полностью заменяющие сотрудников железной дороги.

Внедрению и широкому распространению подобных решений препятствуют огромное количество разноплановых, возникающих на объектах транспорта нештатных ситуаций, таких как сбои, акты несанкционированного вмешательства. Это свидетельствует о необходимости наличия квалифицированных сотрудников и полной автоматизации труда на достаточно сложных объектах, связанных с риском для жизни пассажиров, однако до сих пор многими руководителями такая необходимость ставится под сомнение. Но прогресс неостановим и разработка таких решений ведется и многие из них находят свое внедрение.

Данная статья рассказывает о внедренных на данный момент и разрабатываемых системах автоматического управления поездами метрополитена (САУП М).

САУП М предназначены для автоматизации процесса управления ведением поезда, включая пуск, разгон, выбор режима ведения на перегонах, торможение у платформ с целью повышения точности выполнения графика движения [1].

1 Классификация САУП М

По классификации Международной ассоциации общественного транспорта (International Association of Public Transport) САУП М подразделяются на 5 уровней автоматизации (Grade of Automation):

GoA0 – полностью ручное управление подвижным составом. Устаревшее решение, почти нигде в современных метрополитенах не встречается. Пример – городской транспорт, трамваи устаревших моделей.

GoA1 – ручное управление подвижным составом. Машинист управляет остановкой и началом движения, положением дверей и другими элементами. Распространенное решение, основанное на частичной автоматизации управления поездом. Реализовано в Екатеринбургском, Самарском, Минском и других метрополитенах.

GoA2 – полуавтоматическое управление подвижным составом. Машинист управляет началом движения и закрытием дверей. Автоматическое прохождение перегонов, остановка на станции и открытие дверей. Возможен переход в режим ручного управления. Реализовано в Петербургском метрополитене, на всех линиях, кроме третьей.

GoA3 – автоматическое управление без машиниста, но с присутствием на составе персонала, управляющего дверями и способного взять на себя управление в случае возникновения нештатных ситуаций. Редкое исклю-

живное решение. Пример реализации – Лондонское метро, линия Docklands Light Railway [2].

GoA4 – полностью автоматическое управление подвижным составом без участия какого либо персонала на борту. Реализовано в Копенгагене, Дубаи и многих других метрополитенах. Наиболее перспективное решение, применяемое на всех новых строящихся и проектируемых линиях.

Наиболее полный список метрополитенов мира, оборудованных САУП М можно найти в [3].

Большинство существующих в мире на данный момент САУП М представляет собой системы уровня GoA2 [4].

Кроме классификации САУП М по уровню автоматизации, существует также их разделение на системы с центральным постом автоведения (ЦПА) и автономные системы. В системах с центральным постом расчет параметров осуществляется специализированным программным обеспечением ЦПА с учетом:

- планового графика движения поездов;
- внесенных диспетчером централизованного хозяйства в плановый график оперативных коррекций;
- межпоездных интервалов;
- минимальных и максимальных значений регулирующего воздействия;
- других специализированных параметров.

Один их видов САУП М – с регулированием длительности стоянок и времени проследования перегонов. Регулирование времени проследования перегонов (реализация функции «нагон») является сложным технологическим процессом и реализуется далеко не на каждом перегоне. Возможности нагона ограничиваются длиной перегона и профилем пути. Упрощенная модель реализации нагона отражена на рис. 1.

Кроме того, САУП М подразделяются на системы с преимущественно графиковым регулированием, при котором выбор рассчитанного управляющего воздействия на основе планового графика движения поездов имеет приоритет перед теми же параметрами, рассчитанными на основе межпоездных интервалов или же с преимущественно интервальным регулированием, при котором выбор рассчитанного управляющего воздействия на основе межпоездных интервалов имеет приоритет перед теми же параметрами, рассчитанными на основе планового графика.

2 Опыт внедрения

Первая в мире САУП М была разработана и внедрена на Victoria line Лондонского метрополитена, открытой в 1967 г. [5].

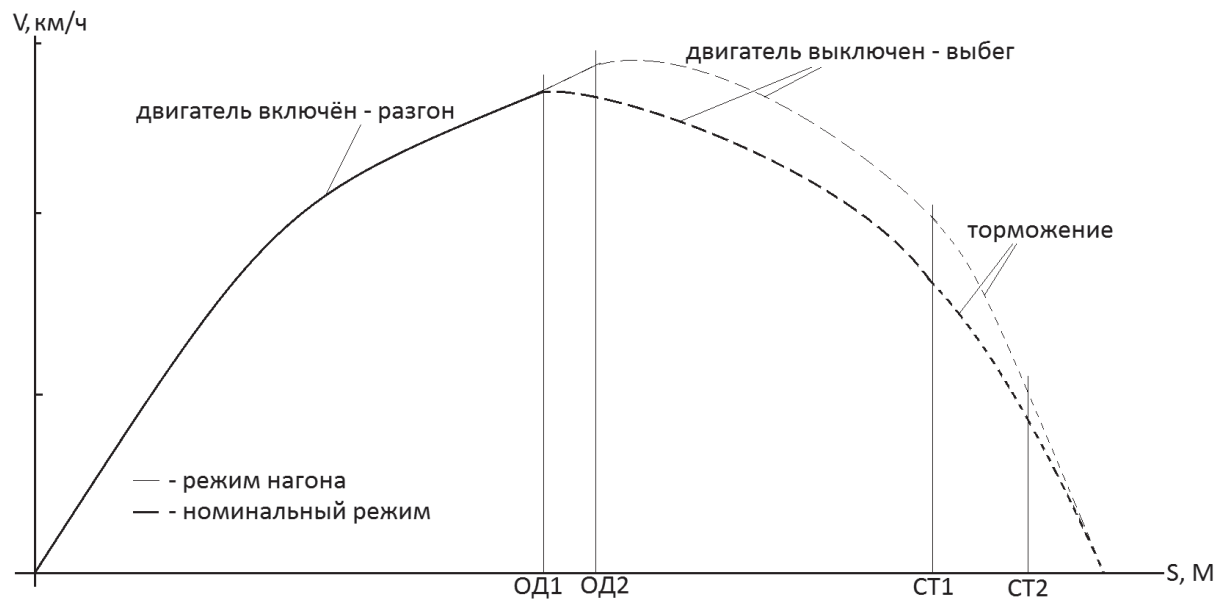


Рис. 1. Реализация функции нагона

Первой реализацией САУП М уровня GoA4 стала линия М1 Копенгагенского метрополитена, открытая в 2002 г. На линии эксплуатируется подвижной состав фирмы AnsaldoBreda. Дизайн подвижного состава линии разработан Giugaro Design of Italy [6].

На данный момент самая длинная, полностью автоматизированная линия метрополитена запущена в столице ОАЭ – Дубае. Метрополитен Дубая введен в эксплуатацию 9 сентября 2009 г., когда начала свою работу «красная» ветка. Сегодня в состав Дубайского метрополитена входят две ветки – «красная» и «зеленая». Большая часть маршрута обеих веток проходит над землей на высоте 10–15 м. Дубайское метро – самая длинная полностью автоматизированная рельсовая система в мире. Протяженность двух веток метро составляет 74,7 км. Это достижение пополнило «копилку» метрополитена эмирата, «красная» ветка которого была также признана самой длинной линией автоматического метро в мире протяженностью 52 км в сентябре 2011 г., о чем в Книге рекордов Гиннеса была сделана соответствующая запись. Кроме того, это первое метро в регионе Персидского залива. Средняя скорость движения составов (без учета времени на остановки) – 110 км/ч [7].

В СССР и впоследствии в России с 70-х гг. XX в. на двух крупнейших метрополитенах ведутся работы по созданию САУП М. На данный момент все внедренные в России САУП М по уровню автоматизации соответствуют GoA 2 [1].

Разработанная в 1988 г. на Ленинградском метрополитене КСАУП М, согласно «Технологической инструкции поездного диспетчера» [8, 9], предназначена для совершенствования технологического процесса движения поездов метрополитена посредством:

- повышения безопасности движения;
- увеличения использования пропускной способности;
- повышения оперативности движения поездов;
- экономии электрической энергии на тягу поездов.

3 Типовая архитектура САУП М

Наиболее распространенной архитектурой САУП М является трехуровневая архитектура программно-аппаратных средств системы.

Самым верхним уровнем системы является уровень центрального поста (ЦП). На этом уровне анализируется поездная обстановка, рассчитываются межпоездные интервалы, опоздания, длительности стоянок, режимы проследования перегона и другие параметры автоведения. Особенностью ЦП является то, что ему доступна вся информация о положении на линии и сведения о текущем плановом графике, позволяющие осуществлять расчет параметров автоведения.

На уровне ЦП осуществляется взаимодействие с диспетчером линии метрополитена, отвечающим за внесение коррекций в нормативный график движения поездов. Коррективы бывают следующих видов:

- ввод нового поезда;
- отмена поезда;
- изменение платформы ввода;
- изменение платформы оборота (конечной станции);
- корректировка расписания ввода по платформе (после сбоя на линии).

ЦП связан по локальной вычислительной сети со станционными контроллерами системы.

Средним уровнем системы являются станционные контроллеры и средства связи с подвижным составом. Их предназначение – организация канала связи между ЦП и бортовой аппаратурой подвижного состава. Кроме того, на станционный уровень системы часто возлагается функция хранения параметров проследования перегона по умолчанию и другие вспомогательные функции.

Нижним уровнем системы является уровень бортовой аппаратуры, посредством радиоканала, организованного на базе WiFi, радиомодемов, GSM-модемов либо каким-то еще способом взаимодействующий со станционным уровнем и далее с ЦП. На нижнем уровне осуществляются привязка к пути, определение текущей координаты поезда, сопряжение с системой управления двигателем состава, с тормозной системой, системой оповещения пассажиров.

Трехуровневая архитектура САУП М приведена на рис. 2.

Часто, в зависимости от возможностей регулирования работы линии, применяют упрощенную архитектуру САУП М, исключая один из уровней.

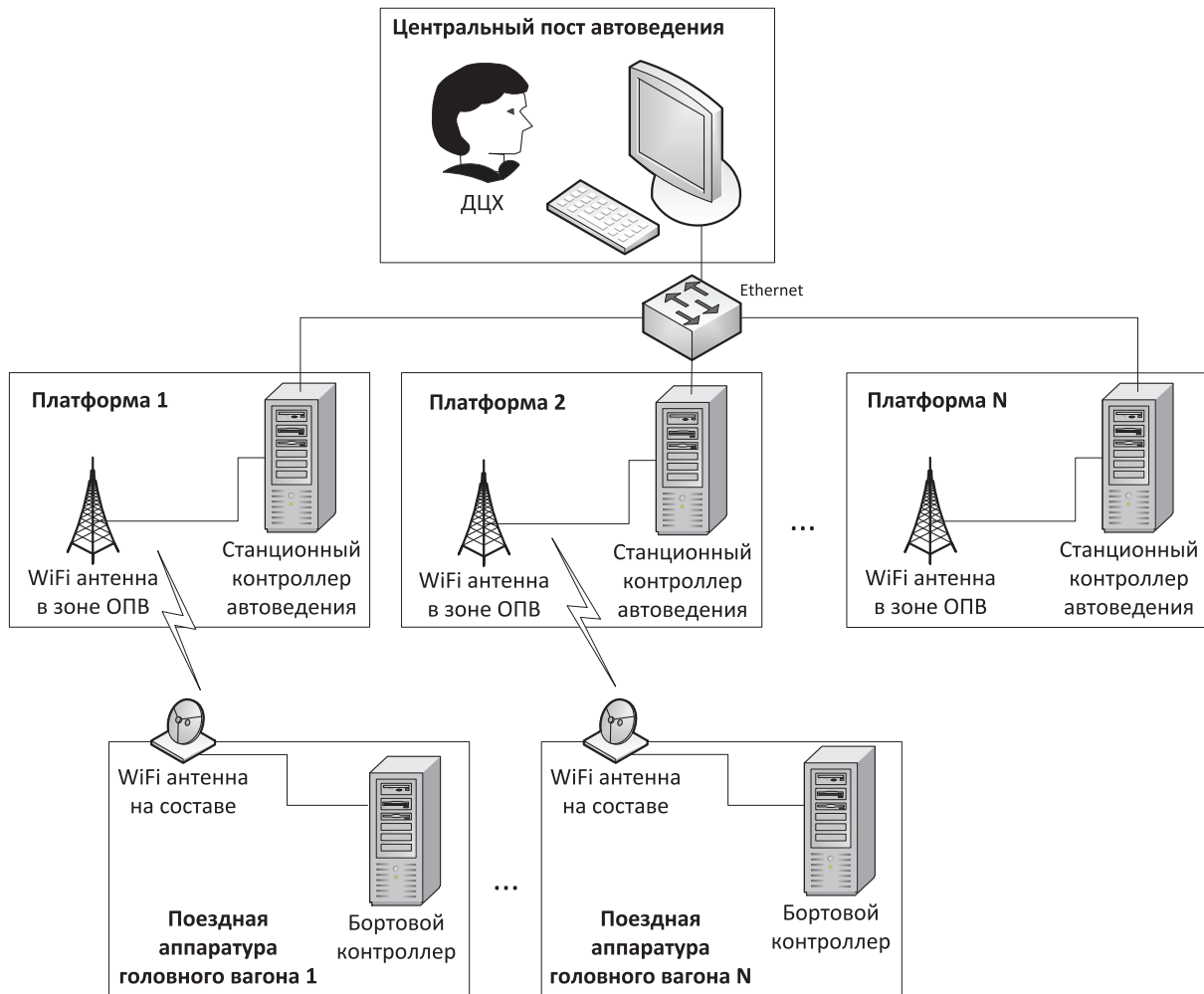


Рис. 2. Архитектура САУП М

Например, поезда проследуют линию в номинальном режиме, заложенном в память бортовой аппаратуры, без привязки к отсутствующему в данной реализации ЦП. Бывают реализации САУП М и без поездной аппаратуры, когда рассчитанные на ЦП стоянки отображаются для машиниста и подлежат исполнению в ручном режиме.

Перегонное оборудование автоведения состоит из меток радиочастотной идентификации, расположенных на стенках тоннеля [10, 11]. В зависимости от места на перегоне устанавливаются метки, содержащие соответствующий код и предназначенные для изменения состояния поездной аппаратуры:

ОПВ – знак остановки первого вагона (полная остановка состава, открытие дверей);

ОД1 – отключение двигателей в номинальном режиме проследования перегона;

ОД2 – отключение двигателей в режиме нагона (если нагон реализован на перегоне);

Т – подтормаживание; на некоторых перегонах реализована функция подтормаживания на перегоне;

СТ1 – начало торможения перед платформой;

СТ2 – начало прицельного торможения перед платформой с точной остановкой в зоне метки ОПВ.

На рис. 3 приведена схема расположения перегонного оборудования САУП М – меток радиочастотной идентификации.

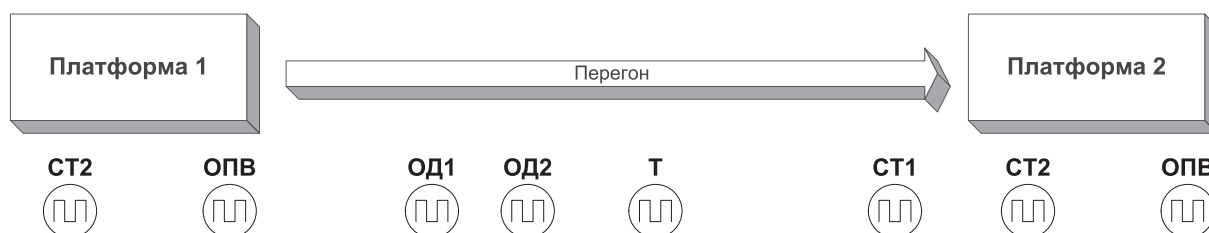


Рис. 3. Перегонное оборудование САУП М

Аппаратные средства ЦПА состоят из АРМ инженера-графиста и АРМ ДЦХ линий. Инженер-графист выполняет разработку нормативного графика движения поездов линий и загрузку нормативного графика на АРМ ДЦХ (диспетчера линий). На АРМ ДЦХ линий выполняется расчет параметров автоведения, которые подаются на станционный контроллер и далее на поездную аппаратуру.

Рассчитанные параметры автоведения передаются на сервер и протоколируются в базе данных, которая доступна для просмотра руководства метрополитена, руководства служб и ревизорского аппарата.

Кроме основных функций, таких как расчет параметров автоведения и реализация взаимодействия с ДЦХ, ПО ЦПА САУП М осуществляет протоколирование работы линии в виде построения исполненного графика движения поездов, ведения базы данных рассчитанных/исполненных стоянок, проследования маршрутов по перегонам, опозданий, грузонапряженности и других параметров работы метрополитена. Вся полученная информация сохраняется на сервере автоматизированной системы учета и анализа работы линий метрополитена (АСУ АРЛМ) и передается во внутреннюю сеть метрополитена с целью обеспечения доступа руководства метрополитена, служб и ревизорского аппарата (рис. 5).

4 САУП М в Петербургском метрополитене

На пяти линиях Петербургского метрополитена внедрены и эксплуатируются различные САУП М, технические решения которых определялись

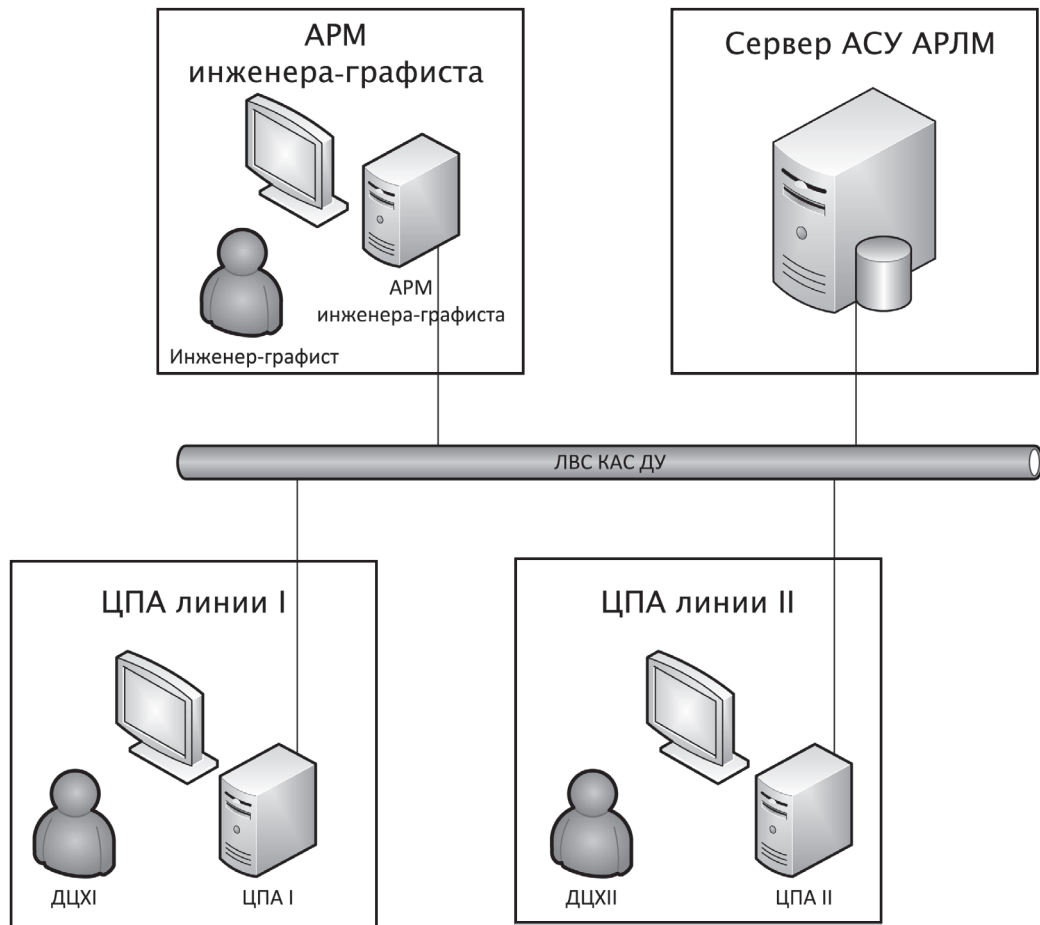


Рис. 4. Аппаратные средства ЦПА САУП М

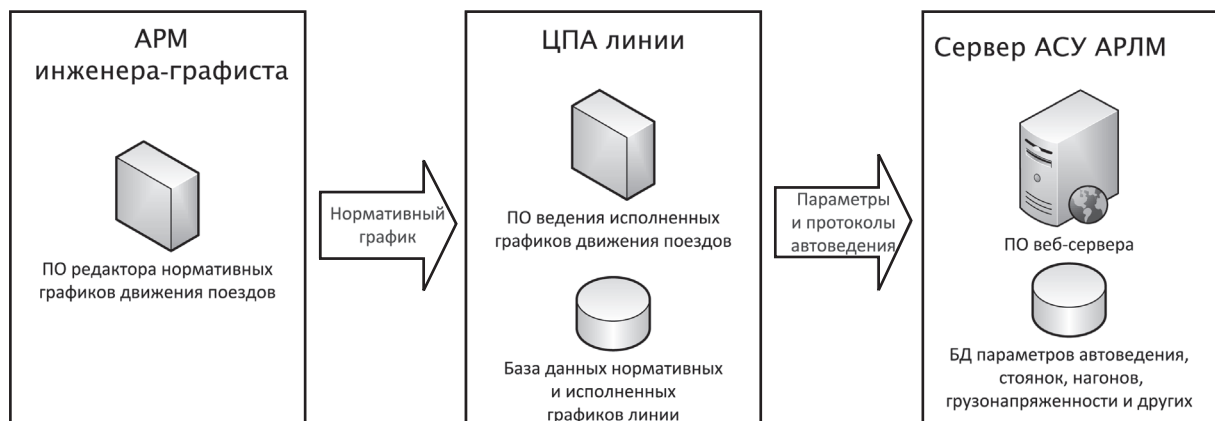


Рис. 5. Программные средства ЦПА САУП М

уровнем технологий, доступных создателям на момент внедрения системы и требованиями заказчика.

На первой линии Петербургского метрополитена внедрена и эксплуатируется комплексная система автоматического управления поездами метрополитена КСАУП М. Регулирование движения поездов осуществляется

программным обеспечением ЦПА на основе планового графика движения поездов.

На поездах второй линии установлена поездная аппаратура комплексной системы движения (ПА КСД), работающая без привязки к ЦПА, что отрицательно сказывается на выполнении графика движения поездов. Поездная аппаратура никак не взаимодействует с ЦП, не имеет сведений о текущем отклонении маршрута от графика, положении соседних маршрутов. Поезда следуют в номинальном режиме, выполняя заложенное в память бортовой аппаратуры номинальное время проследования перегонов и стоянок на платформах.

На третьей линии реализовано автоведение с упрощенной поездной аппаратурой. Управление подвижным составом осуществляется машинистом с учетом показаний путевых устройств индикации, расположенных в зоне знака ОПВ. На данных устройствах отображается рассчитанное ЦПА время стоянки поезда в режиме обратного отсчета. Данный режим работы линии позволяет обеспечить четкое выполнение графика движения поездов и соблюдение межпоездных интервалов.

На четвертой линии реализована наиболее современная версия автоведения, основанная на системе бесконтактной привязки к пути. В ее основе лежит использование технологии радиочастотной идентификации. На стенках тоннелей перегонов и платформ наклеены радиочастотные метки, содержащие информацию о точках изменения режима работы поездной аппаратуры. Этим точкам может быть несколько типов: точка отключения двигателя, точка подтормаживания на перегоне, точка начала прицельного торможения на станции и др. (рис. 3).

На подвижном составе пятой линии функционирует следующая версия поездной аппаратуры ПА КСД, установленной на второй линии – поездная аппаратура модернизированная (ПА М), работающая в режиме частичного взаимодействия с ЦП.

5 Перспективы развития

Стремительное развитие технологий, повышение надежности технических средств создают предпосылки для развития современных САУП М. Направлениями развития современных САУП М являются повышение уровня автоматизации до GoA4 и повышения уровня надежности оборудования и точности его работы.

Существенным препятствием для полного отказа от нахождения на борту персонала метрополитена, управляющего движением поездов, является угроза актов несанкционированного вмешательства в работу метрополитена. В случае возникновения подобных ситуаций необходимо присутствие на со-

ставе сотрудника метрополитена, действия которого должны быть направлены на минимизацию последствий таких актов.

Другим направлением развития САУП М является использование новых технологических решений, призванных улучшить качественные характеристики существующих и вновь разрабатываемых систем.

Так, для передачи данных между станционной и поездной аппаратурой используется радиосвязь, в том числе радиомодемы, позволяющие открыто передавать информацию в обоих направлениях. Кроме собственно передачи информации, радиомодемная связь используется для решения задач привязки к пути: получая код платформы, программное обеспечение поездной аппаратуры выбирает режим для проследования перегона [3].

Для определения точного положения поезда при въезде на платформу и осуществления прицельного торможения используются оптические датчики совместно с нанесенными на стены станций светоотражающими элементами.

Повышение надежности реверсивных датчиков скорости сделало возможным их использование для определения координат отключения двигателей, зоны начала подтормаживания на перегоне, торможения перед платформой станции и других точек.

На рис. 6 и 7 представлены алгоритмы перехода поездной аппаратуры в режим автоведения и обратно – в режим ручного управления подвижным составом.

Как видно из приведенного алгоритма, переход в режим автоведения осуществляется после определения поездной аппаратурой координаты состава на линии и радиообмена с ЦП. Переход в режим автоведения становится возможен благодаря определению платформы, на которую прибыл состав. Альтернативными вариантами является определение координаты по меткам радиочастотной идентификации или ручной выбор платформы машинистом.

Как видно из рис. 7, автоматический переход в ручной режим управления в штатной ситуации осуществляется после выдачи ЦП команды на проследование в депо или на отстой. Переход в ручной режим возможен в любое время по команде машиниста.

На рис. 8 приведен алгоритм проследования перегона в режиме автоведения. Данный алгоритм описывает проследование перегона в режиме, заданном ЦП, или в номинальном режиме, согласно схеме, приведенной на рис. 3. В данном случае выключение двигателя производится в точке ОД1. Движение осуществляется в экономичном режиме – без нагона. Либо поезд следует в графике, либо нагон на этом перегоне не реализован. Далее поезд проследует точку Т, где выполняется подтормаживание на перегоне с заранее заданными параметрами. После проследования точек СТ1 выполняется торможение при прибытии поезда на платформу, а после проследования

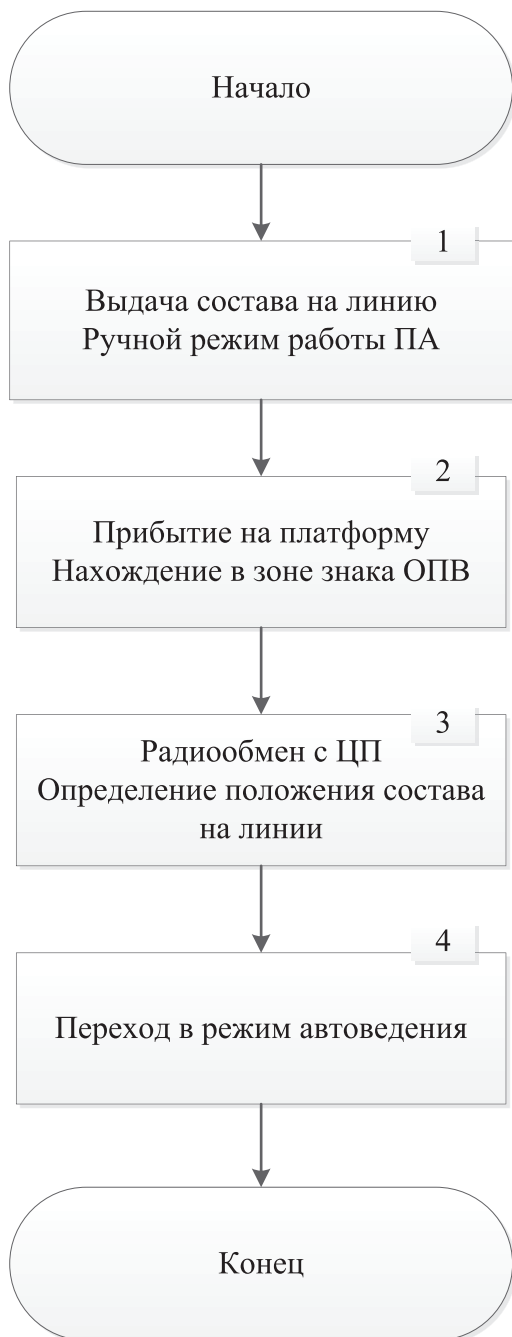


Рис. 6. Алгоритм перехода бортовой аппаратуры в режим автоведения

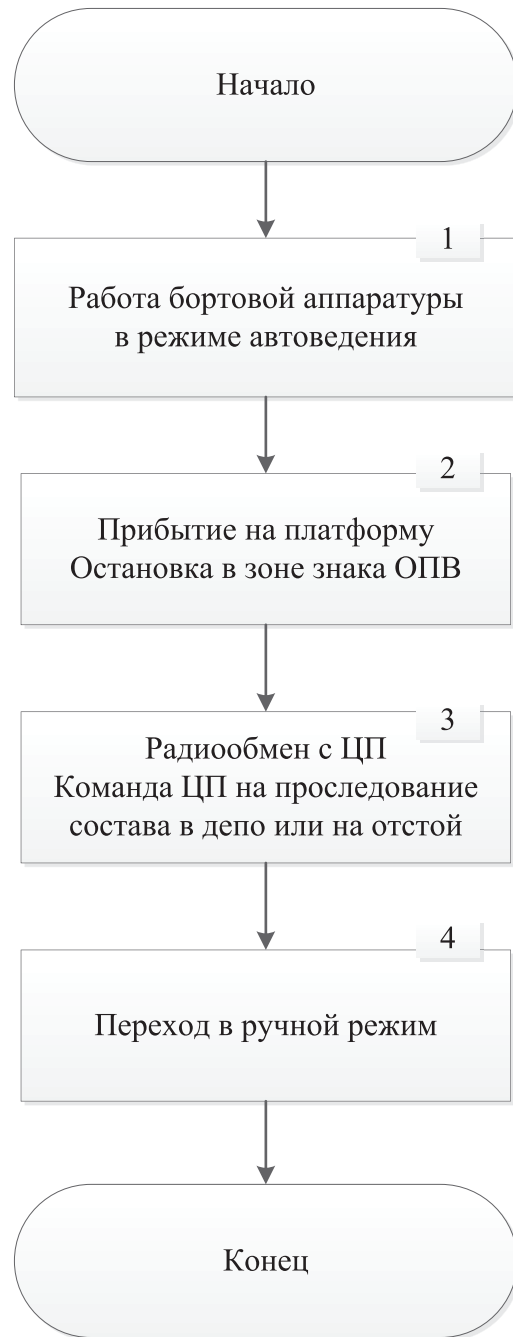


Рис. 7. Алгоритм перехода бортовой аппаратуры в ручной режим управления

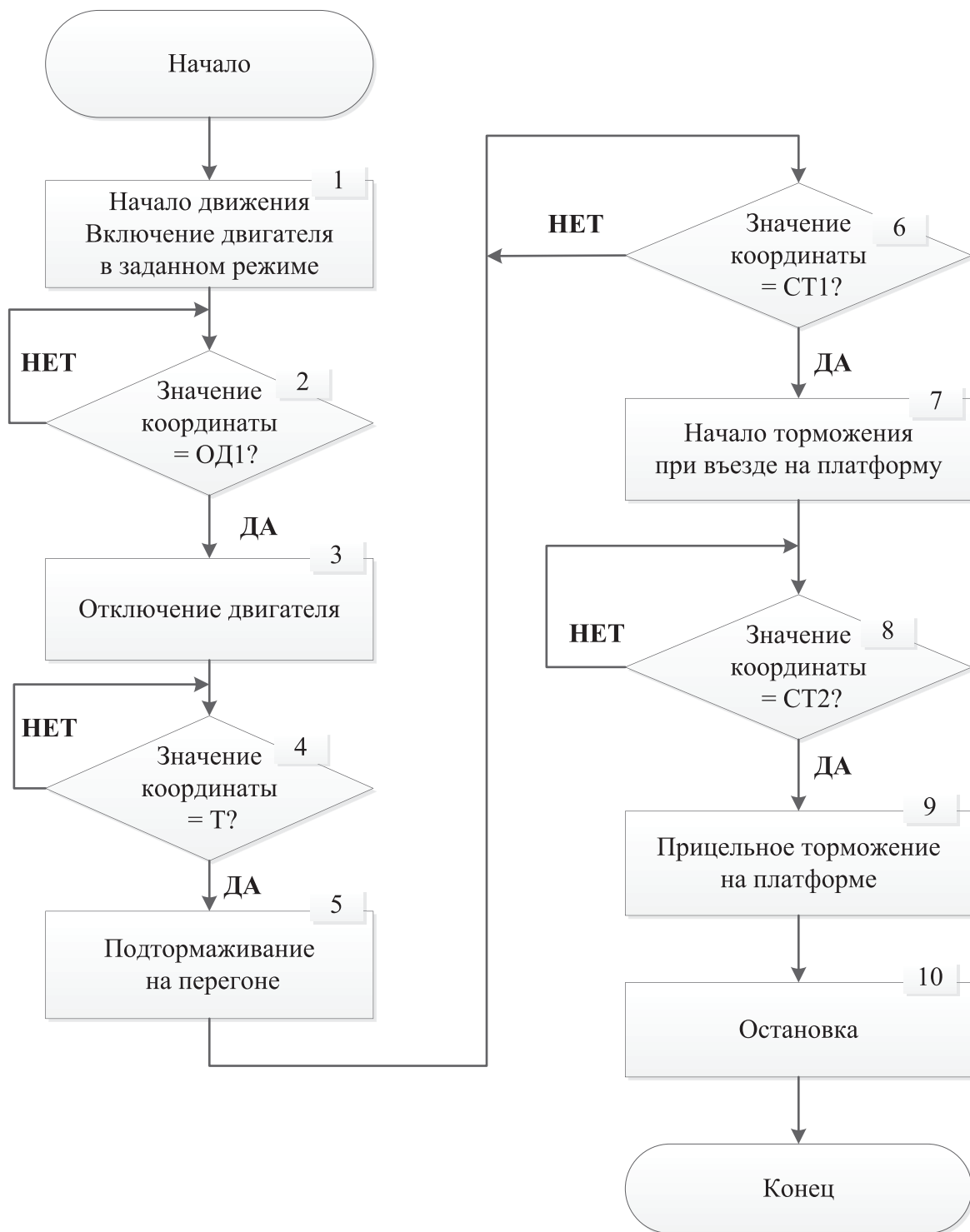


Рис. 8. Проследование перегона в режиме автоведения

СТ2 – оповещение пассажиров о прибытии на станцию и прицельное торможение вплоть до остановки в зоне знака ОПВ.

Следует отметить, что зона подтормаживания реализована не на каждом перегоне и включена в алгоритм для указания наличия такой возможности. Кроме того, возможно наличие режима повторного включения-выключения двигателей на длинных перегонах. На некоторых перегонах может быть реализовано до трех программ включения-выключения двигателей.

В случае отказа радиомодемов на составе (рис. 9), радиомодемов на станции, отказа станционного контроллера, сбоя в работе ЦП или другой неисправности бортовая аппаратура не получает информации о параметрах стоянки и проследования перегона. В этом случае работа автоведения осуществляется в номинальном режиме. В память бортовой аппаратуры заложены таблицы кода платформы – номинальных стоянок и режима проследования перегона по умолчанию, определенные для этой платформы.

Для осуществления прицельного торможения в зоне знака ОПВ с высокой точностью применяются оптические датчики. Пример реализации алгоритма прицельного торможения приведен на рис. 10.

Заключение

На данный момент САУП М активно развиваются и внедряются в метрополитенах и на железных дорогах мира. Развитие САУП М технологически и экономически обосновано и осуществляется в направлениях повышения уровня автоматизации и надежности работы технических средств.

Современные САУП М являются квинтэссенцией современных технологий, объектом их масштабного применения. Все самое современное незамедлительно находит применение в САУП М, служит повышению их надежности и уровня автоматизации.

Основным препятствием для развития САУП М является сохраняющаяся высокая угроза осуществления актов несанкционированного вмешательства в работу метрополитена. В случае их возникновения необходимо наличие на составе с пассажирами квалифицированного сотрудника метрополитена, проинструктированного на случай действий в чрезвычайной ситуации.

Кроме того, экономическая целесообразность диктует необходимость использования на одних и тех же линиях и депо устаревающего и современного подвижного состава. Подвижной состав устаревших моделей зачастую не подлежит модификации с установкой на него современной аппаратуры автоведения. Оснащение же САУП М только части подвижного состава приводит к невозможности создания единого контура управления линией (часть поездов управляется, часть – нет) и снижает эффективность САУП М.

Постепенное обновление подвижного состава создает предпосылки для полного оснащения линий метрополитена САУП М.

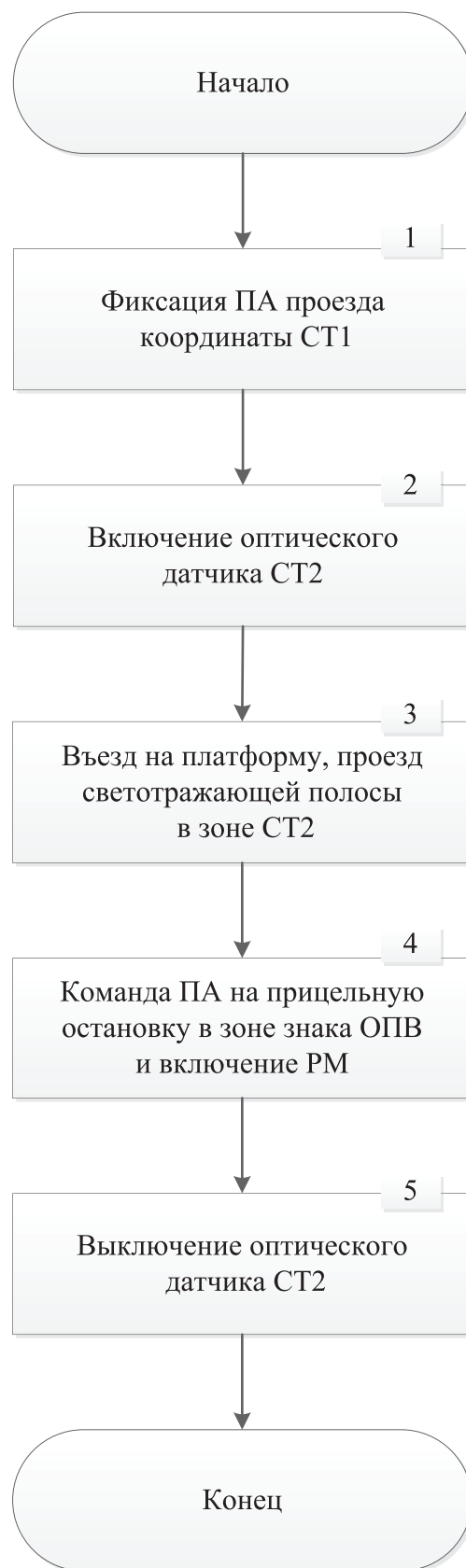


Рис. 9. Работа бортовой аппаратуры в номинальном режиме

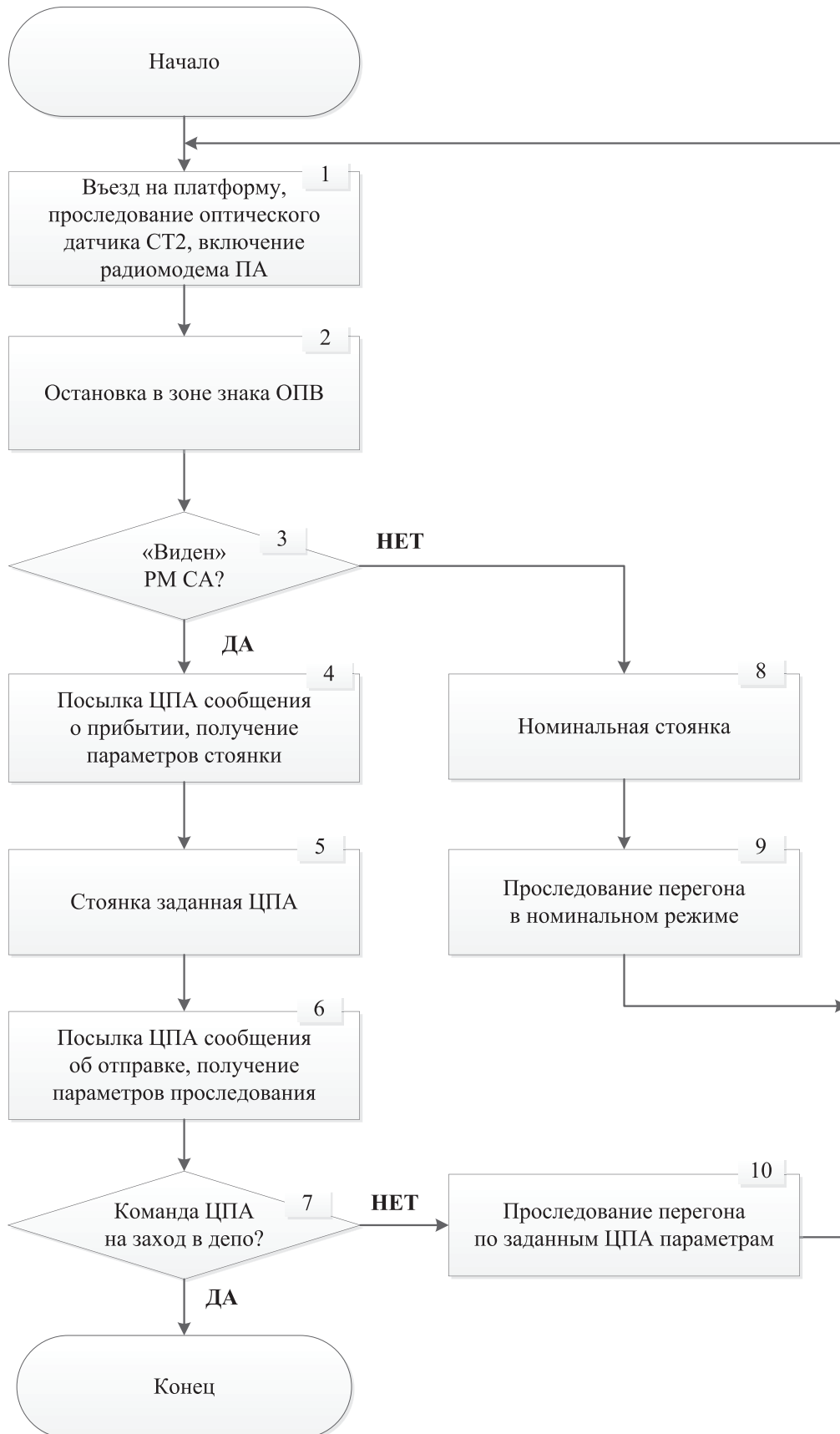


Рис. 10. Алгоритм работы датчика проследования точки СТ2 (прицельное торможение)

Библиографический список

1. Баранов Л. А. Системы автоматического и телемеханического управления электроподвижным составом / Л. А. Баранов, Е. В. Ерофеев. – М. : Транспорт, 1984. – 311 с.
2. Docklands Light Railway. – URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Docklands_Light_Railway.
3. List of automated urban subway systems. – URL : http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automated_urban_subway_systems.
4. Automatic train operation. – URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation.
5. L'Union internationale des transports publics. – URL : <http://www.uitp.org>.
6. Copenhagen metro. – URL : http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_metro.
7. Дубайское метро. – URL : http://emirat.ru/wiki/%D0%94%D1%83%D0%B1%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE#.D0.9F.D0.B0.D1.81.D1.81.D0.B0.D0.B6.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.BF.D0.BE.D1.82.D0.BE.D0.BA.
8. Комплексная система автоматического управления поездами метрополитена (КСАУП М) «Технологическая инструкция поездного диспетчера»/I.3252A. I35.6A. – Л. : Гипротрансигналсвязь, 1988.
9. Комплексная система автоматического управления поездами метрополитена (КСАУП М). Описание постановки комплекса задач / I.3252A.005.3 В. – Л. : Гипротрансигналсвязь, 1988.
10. Костроминов А. А. Дисперсионные свойства зоны радиовидимости RFID-элементов в системе автоведения поездов метрополитена / А. А. Костроминов, А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 4. – С. 62–71.
11. Костроминов А. А. Разработка структур и алгоритмов работы систем автоматического контроля движения поездов метрополитена / А. А. Костроминов, М. Ю. Королев, Т. В. Крючкова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 2. – С. 61–67.

Pavel M. Nikul`chikov

«Automation and remote control on railways» department
Petersburg state transport university

History, condition and future development of automatic control systems of subway trains

The article describes the current state of automatic control systems of subway trains (SAUP M). It provides the classification of existing SAUP M based on the level of automation, according to the International Association of Public Trans-

port, as well as on other criteria. The article describes international and Russian experience in implementing of SAUP M and classification of implemented by numerous developers solutions by the levels of automation. It also provides a typical three-tier architecture of SAUP M and description of the functional purpose of all levels. There are also the description and layout of span equipment of SAUP M based on the example of RFID tags (Radio Frequency Identification). The article demonstrates the architecture of the hardware and software of the main automatic train operation control room. It highlights the current condition of automatic train operation systems on the lines of St. Petersburg subway. The article also reveals technological prerequisites for the development of SAUP M and operation algorithms for automatic train operation apparatus for target braking at the station and passing the spans.

automatic control; SAUP M; St. Petersburg subway; train timetable; inter-train intervals; train inactivity; regaining; automatic control algorithms; automatic control signal station; on-board automatic control equipment; station automatic control equipment

References

1. Baranov L. A., Erofeev E. V. (1984). Automated and remote control systems of electrical rolling stock [Sistemy avtomaticheskogo i telemekhanicheskogo upravleniya elektropodvizhnym sostavom], Moscow, Transport, 311 p.
2. Docklands Light Railway, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Docklands_Light_Railway.
3. List of automated urban subway systems, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automated_urban_subway_systems.
4. Automatic train operation, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation.
5. L'Union internationale des transports publics, URL: [http://www.uitp.org](http://www UITP.org).
6. Copenhagen metro, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_metro.
7. Dubai Metro, URL: http://emirat.ru/wiki/%D0%94%D1%83%D0%B1%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE#.D0.9F.D0.B0.D1.81.D1.81.D0.B0.D0.B6.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.BF.D0.BE.D1.82.D0.BE.D0.BA.
8. Complex automatic control systems of subway trains (KSAUP M) «Technology manual of traffic controller» (1988) [Kompleksnaya sistema avtomaticheskogo upravleniya poyezdami metropolitena (KSAUP M) «Tekhnologicheskaya instruktsiya poyezdnogo dispetchera»], I.3252A.I35.6A Giprottranssignalsvyaz'.
9. Complex automatic control systems of subway trains (KSAUP M) «Complex problem statement description» (1988) [Kompleksnaya sistema avtomaticheskogo upravleniya poyezdami metropolitena (KSAUP M) «Opisaniye postanovki kompleksa zadach»] / I.3252A.005.3 B Giprottranssignalsvyaz'.
10. Kostrominov A. A., Kostrominov A. M., Kryuchkova T. V. (2011). Dispersive properties of radio visibility zone of RFID-components in automatic control systems of

- subway trains [Dispersionnyye svoystva zony radiovidimosti RFID-elementov v sisteme avtovedeniya poyezdov metropolitena], Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya Peterburgskogo Universiteta Putej Soobshcheniya), issue 4, pp. 62–71.
11. Kostrominov A. M., Korolev M. Yu., Kryuchkova T. V. (2015). Design of structures and algorithms for operation of automatic control systems of subway trains [Razrabotka struktur i algoritmov raboty sistem avtomaticheskogo kontrolya dvizheniya poyezdov metropolitena], Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya Peterburgskogo Universiteta Putej Soobshcheniya), issue 2, pp. 61–67.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила 01.10.2015, принята к публикации 29.01.2016*

НИКУЛЬЧИКОВ Павел Михайлович – научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: nikulchikov@mail.ru

© Никульчиков П. М., 2016