

2023. – Vol. 18, No. 4(76). – P. 1067-1072. – DOI: 10.24412/1932-2321-2023-476-1067-1072.

6. *Акимов В.А., Бедило М.В., Шишков Ю.А., Иванова Е.О., Ростовцев Д.И., Сериков В.В.* Моделирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2023. – 144 с.

Новиков В.Г.

Обеспечение безопасности движения поездов при координатном способе интервального регулирования

Аннотация: Работа посвящена применению цифрового радиоканала передачи данных и инфракрасного канала для интервального регулирования движения поездов с использованием действующих технических средств, внедрённых на Московском метрополитене.

Разработаны алгоритмические методы, с использованием которых возможна организация интервального регулирования движения поездов при применении устройства беспроводного обмена данными – модуля мобильной связи, который позволяет осуществлять обмен данными между различными объектами по радиоканалу и инфракрасному каналу передачи данных.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, микропроцессорные системы централизации, Московский метрополитен, диспетчерская централизация, система автоматического считывания номера маршрута поезда, система интервального регулирования, цифровой радиоканал передачи данных, инфракрасный канал передачи данных

Внедрение современных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на Московском метрополитене обусловлено необходимостью повышения пропускной способности

линий, а также необходимостью замены и модернизации устаревших систем интервального регулирования движения поездов. Такие системы были разработаны и внедрены на метрополитене ещё в 60-80 годы прошлого века. Системы на базе микропроцессорной техники начинают внедряться на Московском метрополитене на основании ранее проведённых исследований и мирового опыта [1-3]. Мировой опыт также показывает, что применение современных систем интервального регулирования движения поездов становится более эффективным, если в них используется цифровой радиоканал передачи данных.

Функционирующие на поездах Московского метрополитена устройства беспроводного обмена данными, в частности, модуль мобильной связи (далее – ММС), может быть использован для организации интервального регулирования движения поездов с использованием данных, передаваемых по радиоканалу и инфракрасному каналу передачи данных.

Согласно теории автоматических систем интервального регулирования, разработанной В.М. Лисенковым [4], существенным отличием координатных систем интервального регулирования движения поездов (КСИР) является то, что регулирование движения (скорости) поезда осуществляется не на границу блок-участка, а на координату хвоста, идущего впереди поезда, с минимально допустимым межпоездным интервалом, который рассчитывается с учетом реальных тормозных характеристик обоих поездов.

Для улучшения качества работы железнодорожных линий с высокой интенсивностью движения поездов, важное значение имеет обеспечение безопасности движения, повышение пропускной способности участков, а также четкое выполнение графика движения поездов [5-7].

Значительный вклад в развитие теории систем интервального регулирования движения поездов внесли известные ученые Баранов Л.А., Бестемьянов П.Ф., Брылеев А.М., Гавзов Д.В., Дмитренко И.Е., Ерофеев Е.В., Кравцов Ю.А., Лисенков В.М., Переборов А.С., Розенберг Е.Н., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И., Шалягин Д.В., Шелухин В.И. и другие. Актуальными вопросами на сегодняшний день являются вопросы разработки и совершенствования принципов и моделей системы автоматического управления вторым локомотивом при виртуальной сцепке, а также

алгоритмы управления и математическое моделирование интервального движения поездов [8-10].

Принцип интервального регулирования, в случае применения устройств ММС заключается в следующем: для управления движением по радиоканалу на перегоне, при обмене данными со станционным ММС бортовое устройство получает данные о том, что идущий впереди поезд оборудован устройствами для координатного интервального регулирования движением поездов по радиоканалу, далее будем называть эту функцию – функцией КСИР. Если впереди идущий поезд оборудован устройствами с функцией КСИР, то интервальное регулирование поездов на этом перегоне происходит по радиоканалу координатным способом, то есть с использованием координаты «хвоста», идущего впереди поезда, а не показания светофора.

В нашем случае в КСИР поезд получает сообщения от других участников движения, находящихся с ним на связи, выбирает попутно следующий идущий впереди поезд (используя его параметры: № пути, координата и направление движения) и осуществляет управление движением с ориентировкой на координату «хвоста» этого поезда. Поезд с функцией КСИР рассчитывает значение допустимой скорости самостоятельно, используя параметры движения впереди идущего поезда.

Также на станции устройствами ММС цифровому радиоканалу и по инфракрасному каналу на поезд может быть передана информация о временных ограничениях скорости на перегоне (S_H^{ep} – координата начала, S_K^{ep} – координата окончания, $V_{доп}^{ep}$ – допустимая скорость движения, T_H^{ep} – время начала, T_K^{ep} – время окончания).

При применении подобного принципа управления движением поездов отсутствует необходимость внедрения системы цифровой радиосвязи, охватывающей всю линию, на которой действует данная система, т.к. обмен данными между бортовыми устройствами происходит по средствам типовой аппаратуры беспроводной передачи данных, которая входит в состав бортового устройства.

Определение расстояния до точки прицельного торможения при интервальном регулировании на «хвост» впереди идущего

поезда S_x и расстояния до ближайшего по ходу движения поезда светофора с запрещающим показанием S_{3c} представлены на рисунке 1 и производится по представленному ниже алгоритму.

Входными данными алгоритма являются:

$\text{№} \Pi_{\text{П1}}, \text{№} \Pi_{\text{П2}}$ номера путей поезда П1 и поезда П2;

$S_{CB}[i]$ – массив данных по светофорам, упорядоченный по линейной координате, $S_{CB.koord}[i]$ – поле линейной координаты в массиве данных, k – количество элементов массива, i – счетчик;

$n_{\text{П1}}, n_{\text{П2}}$ направление движения поезда П1 и поезда П2 (принимает значение -1 при движении поезда в сторону уменьшения координаты и 1 при движении поезда в сторону увеличения координаты);

$l_{\Gamma1}$ – линейная координата головы поезда П1;

$l_{\Gamma2}$ – линейная координата головы поезда П2;

$L_{\text{П1}}$ – длина поезда П1.

Выходными данными алгоритма являются величины S_x, S_{3c} .

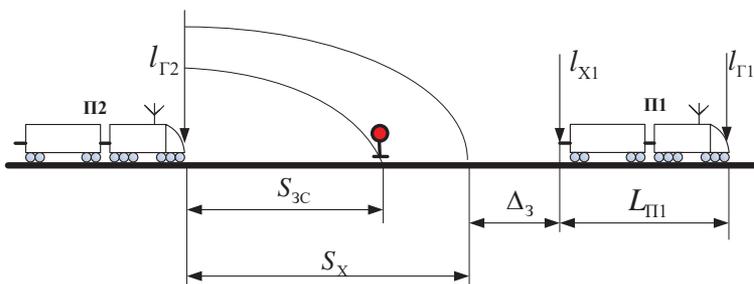


Рисунок 1 – Схема определения величин S_x, S_{3c}

Длина тормозного пути поезда определяется по формуле (1):

$$S_X = |l_{Г1} - L_{П1} - \Delta_3 - l_{Г2}|, \quad (1)$$

где Δ_3 – защитный интервал, вводимый для обеспечения интервала между поездами П1 и П2 при полной остановке поезда П2.

Блок-схема алгоритма определения S_X представлена на рисунке 2.

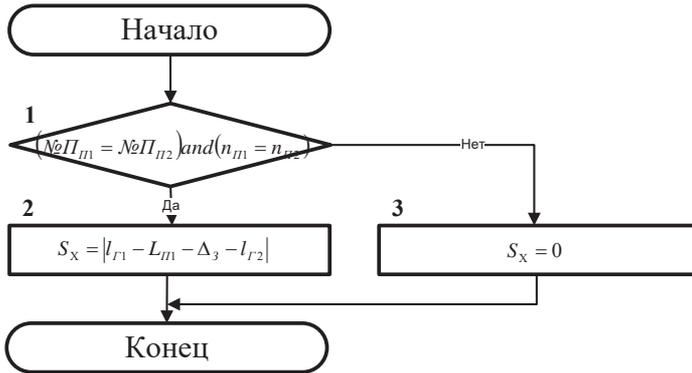


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма определения S_X

Блок 4 (рисунок 3): Флаг FlagSZS принимает значение True при выполнении условия $n_{П1} \cdot S_{CB} \cdot koord [i] > n_{П1} \cdot l_{Г2} > n_{П2} \cdot S_{CB} \cdot koord [i + n_{П1}]$ (т.е. поезда П1 и П2 являются попутно следующими), иначе FlagSZS принимает значение False.

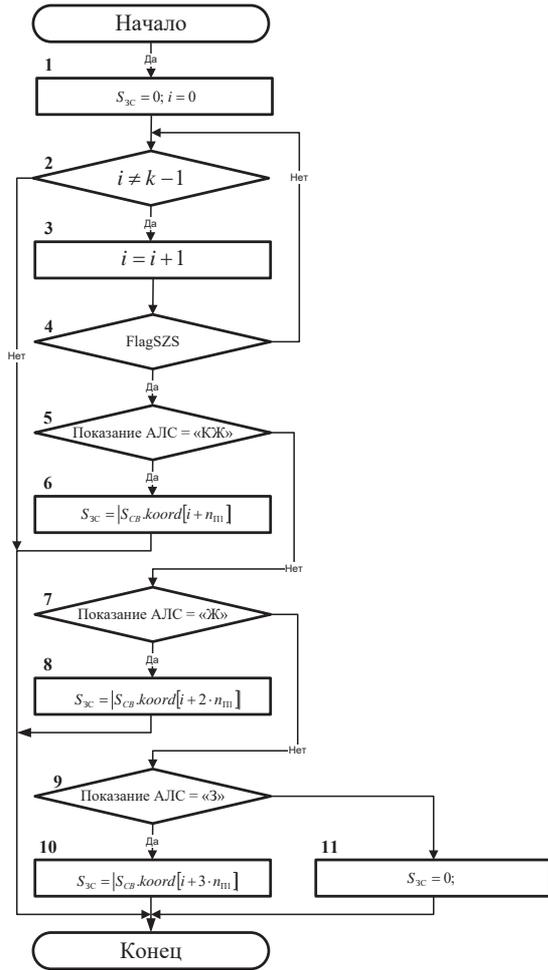


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма определения $S_{зс}$

Формирование значения допустимой скорости при интервальном регулировании на «хвост» впередиидущего поезда происходит следующим образом. После получения по цифровому радиоканалу данных от впередиидущего поезда (линейная координата $S_{\text{коорд}}$, направление движения n , номер пути $N \in P$,

длина поезда $L_{п}$, признак полносоставности III) в момент времени t_0 (рисунок 4), в бортовом устройстве рассчитывается расстояние до точки прицельного торможения при интервальном регулировании на «хвост» впередиидущего поезда S_x и формируется кривая торможения к этой точке. В процессе движения к «хвосту» впередиидущего поезда допустимая скорость движения будет уменьшаться по кривой торможения до тех пор, пока не придут новые данные по цифровому радиоканалу через период времени Δt , значение которого зависит от загруженности канала связи и определяется на этапах проектирования системы. После получения новых данных по цифровому радиоканалу (в момент времени t_1) кривая торможения к координате «хвоста» впередиидущего поезда формируется снова. Фактическая скорость поезда при этом может быть увеличена.

Если данные по цифровому радиоканалу получены не были, а допустимая скорость, задаваемая системой АЛС ($V_{АЛС}^{don}$) будет больше допустимой скорости, задаваемой кривой торможения, сформированной по координате «хвоста» впередиидущего поезда ($V_{КСИР}^{don}$), то в качестве значения допустимой скорости выбирается значение $V_{АЛС}^{don}$. После восстановления связи в момент времени $t_{ВС}$ и получения по цифровому радиоканалу данных от впередиидущего поезда кривая торможения по координате «хвоста» впередиидущего поезда формируется снова.

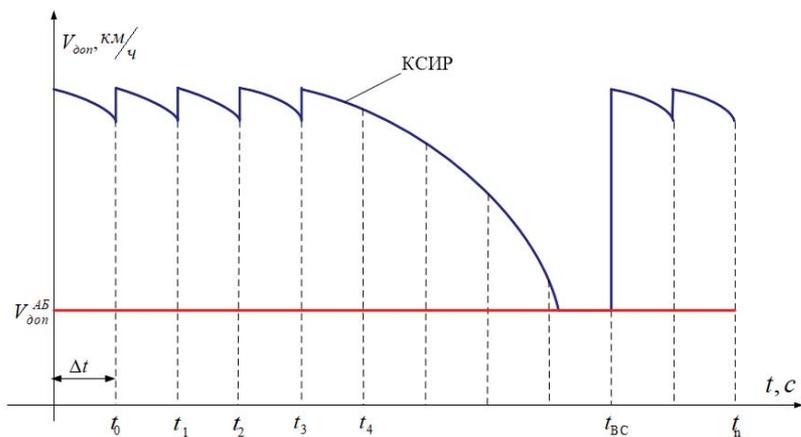


Рисунок 4 – Схема формирования значения допустимой скорости при формировании кривой торможения к точке прицельного торможения S_x при интервальном регулировании на «хвост» впередиидущего поезда, $t_0 \dots t_n$ – время получения новых данных от впередиидущего поезда; t_{BC} – момент времени восстановления связи

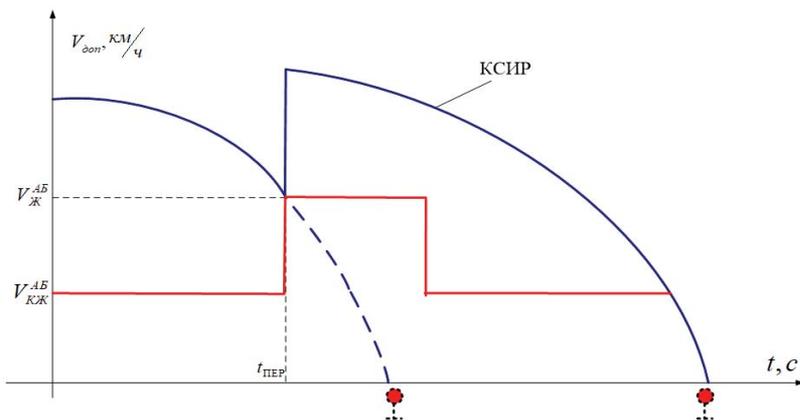


Рисунок 5 – Схема формирования значения допустимой скорости при формировании кривой торможения на ближайший по ходу движения поезда светофор с запрещающим показанием $S_{ЗС}$, $t_{ПЕР}$ – момент времени перемены сигнала

Формирование значения допустимой скорости при интервальном регулировании на ближайший по ходу движения поезда светофор с запрещающим сигналом происходит следующим образом. По алгоритму, описанному выше, в бортовом устройстве осуществляется поиск ближайшего по ходу движения поезда светофора с запрещающим показанием и формируется кривая торможения к линейной координате, на которой он располагается. При изменении сигнала АЛС в момент времени $t_{ПЕР}$ (рисунок 5) поиск ближайшего по ходу движения поезда светофора с запрещающим показанием и формирование кривой торможения к его линейной координате, осуществляется снова.

Заключение

Система интервального регулирования движения поездов с автоматическим регулированием скорости на участках линий метрополитена осуществляет интервальное регулирование движения поездов метрополитена посредством предупредительной

сигнализации о значении допустимой скорости на рельсовой цепи нахождения поезда и на первой рельсовой цепи, свободной перед поездом, в зависимости от состояния объектов взаимозависимостей АРС и задания маршрутов в установленном направлении с пропускной способностью не менее 48 пар поездов в час.

Такая пропускная способность в текущих условиях обеспечивает выполнение планового графика движения поездов, однако применение цифрового радиоканала и инфракрасного канала передачи данных для интервального регулирования движения поездов в составе СИРДП АРС позволит сократить межпоездной интервал за счет более точного определения координаты хвоста, идущего впереди поезда.

СИРДП АРС обеспечивает безопасность движения поездов путем контроля состояний объектов взаимозависимостей и исключения состояний, которые могут привести к опасным отказам.

Литература:

1. *Лаврик В.В.* Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитена. – М.: Транспорт, 1977. – 135 с.

2. *Баранов Л.А., Ерофеев Е.В., Максимов В.М., Головичер Я.М.* Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава – М.: Транспорт, 1990. – 271 с.

3. *Ковкин А.Н.* Бесконтактное управление светофорами в системе микропроцессорной централизации МПЦ-МПК // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. № 3. – С. 307-325.

4. *Лисенков В.М.* Теория систем интервального регулирования. – М.: Транспорт, 1987. – С. 4.

5. *Сидоренко В.Г., Копылова Е.В., Сафронов А.И., Туманов М.А.* Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 33-48.

6. *Сафронов А.И.* Применение методологии дизайн-мышления к планированию перевозочного процесса на Московском метрополитене в интеллектуальной транспортной системе «АРМ Графиста» / Материалы II Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные транспортные системы», Москва,

25 мая 2023 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2023. – С. 338-347. – DOI10.30932/9785002182794-2023-338-347.

7. *Искаков Т.А., Сафронов А.И., Сидоренко В.Г., Чжо М.А.* Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 38-63. – DOI 10.20295/2412-9186-2020-6-1-38-63.

8. *Бестемьянов П.Ф., Баранов Л.А.* Алгоритмы управления и математическое моделирование интервального движения поездов // Электротехника. – 2023. – № 9. – С. 2-5. – DOI 10.53891/00135860_2023_9_2.

9. *Баранов Л.А., Бестемьянов П.Ф., Балакина Е.П., Пудовиков О.Е.* Методика выбора длины виртуальной сцепки по требованиям безопасности в интеллектуальных системах управления движением поездов / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXX Международной научной конференции (Москва, 14 декабря 2022 года). – Москва: ИПУ РАН, 2022. – С. 261-267. – DOI 10.25728/iccss.2022.39.49.039.

10. *Баранов Л.А., Бестемьянов П.Ф., Балакина Е.П., Пудовиков О.Е.* Принципы построения и модели системы автоматического управления вторым локомотивом при виртуальной сцепке // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 377-388. – DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-377-388.
