

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕГОНОВ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

БАРАНОВ Леонид Аврамович, докт. техн. наук, профессор; e-mail: baranov.miit@gmail.com

ЛОГИНОВА Людмила Николаевна, канд. техн. наук, доцент; e-mail: ludmilanv@mail.ru

ЕРМАКОВА Александра Евгеньевна, аспирант; e-mail: ermakova.alex28081994@yandex.ru

ЮНЦЯН Чжан, аспирант; e-mail: zyq0526@yandex.ru

Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Управление и защита информации», Москва

Рассмотрена актуальность разработки системы автоматического построения регулировочных характеристик перегонов для централизованного управления движением поездов. Регулировочные характеристики позволяют определить минимально допустимый интервал по отправлению поездов со станции при заданном времени хода двух последовательно движущихся поездов и заданной длительности стоянки впереди идущего поезда. Изложены принципы построения автоматической системы построения характеристик. Приведены примеры результатов построения регулировочных характеристик перегонов метрополитенов.

Ключевые слова: система управления, беспилотное движение, регулировочные характеристики линии, движение поездов, интеллектуальные системы, городской рельсовый транспорт, автоматическое управление, перевозочный процесс, моделирование движения поездов

DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-03-246-253

▼ Введение

Транспортная система крупного мегаполиса — один из ключевых элементов инфраструктуры города. Комфорт и безопасность поездок на общественном транспорте — важный показатель качества жизни населения. Важнейшую роль в пассажирских перевозках играет внеуличный железнодорожный транспорт — городские рельсовые транспортные системы (ГРТС) [1].

Развитие методов искусственного интеллекта и совершенствование аппаратных средств делают перспективным развитие такого направления цифровизации транспорта, как разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1, 2].

Многие страны, в том числе и Россия, ведут разработки и внедрение интеллектуальных систем во всех сферах, в том числе в транспортных системах. В Российской Федерации создание ИТС осуществляется с 2018 года [2]. Работы многих исследователей посвящены анализу российских и иностранных практик управления ИТС, например, в работах [2–4]

показаны тренды развития ИТС в России и Беларуси. В Южной Корее история создания интеллектуальных транспортных систем начинается в 2004 году, когда была осуществлена апробация на практике Системы управления общественным транспортом [2]. В Сингапуре в 2006 году был принят первый Генеральный план внедрения ИТС, в соответствии с которым проводились основные работы по формированию интеллектуальной платформы управления транспортной сферой [2].

Транспортная система Российской Федерации является необходимым звеном, позволяющим связывать экономические и социальные аспекты страны. ИТС, предназначенные в том числе для автоматического управления движением транспортных средств, позволяют повысить использование пропускной способности, увеличить провозную способность, усовершенствовать систему обеспечения безопасности движения (СОБД) [5, 6].

В условиях Москвы к ГРТС относятся метрополитен, Московское центральное кольцо, Московские центральные диаметры.

Современные системы управления движением поездов внеуличного железнодорожного транспорта обеспечивают выполнение заданного объема перевозок при безусловном выполнении условий безопасности и комфорта пассажиров. Обеспечение заданного объема перевозок трансформируется в требование выполнения планового графика движения с заданной точностью при компенсируемых возмущениях или в оперативную перестройку графика при не компенсируемых возмущениях с последующим его выполнением. После ликвидации причины сбоя реализуется управление движением поездов, приводящее к переходу к плановому графику. Автоматические системы управления в этих условиях строятся как централизованные и содержат два контура управления. Верхний контур получает информацию о временах прибытия и отправления по всем станциям всех поездов линии (исполненный график движения), сравнивает их с плановым или оперативно построенным графиком движения и вырабатывает управление для каждого поезда: $T_{xj}^y [n]$ — время хода n -го поезда по j -му перегону, $t_{0j}^y [n]$ — время отправления n -го поезда, на j -й перегон с j -й станции. Нижний функциональный контур выполняет заданные верхним контуром времена хода, длительности стоянок, осуществляет прицельное торможение и оборот состава [7], что реализуется поездными устройствами. Системы автоматического управления функционируют под контролем СОБД, команды которого обладают высшим приоритетом. СОБД задает ограничения скорости движения поезда, вплоть до остановки. Управление, вырабатываемое верхним функциональным уровнем, должно обеспечить движение поездов со скоростями, не превышающими заданные системами безопасности ограничения. Это требование реализуется безопасное движение поездов — движение «на зеленый», отсутствие задержек при срабатывании системы безопасности.

Алгоритм управления верхнего уровня при задании каждому поезду линии времени хода по данному перегону должен учитывать время хода предыдущего поезда и длительность его стоянки на следующей станции с целью выполнения требования не превышения скорости, задаваемой системой обеспечения без-

опасности. В частности, в централизованных системах управления движениями поездов метрополитена это обеспечивается графико-интервальным алгоритмом управления, учитывающим зависимость ограничений управления от состояния системы и прогнозом возмущений [7–10]. При реализации этого алгоритма необходимо знание для каждого перегона его регулированных характеристик [9], определяемых зависимостью минимального интервала по отправлению n -го поезда с j -й станции ($T_{иоj}^{min} [n]$), обеспечивающего движение под ограничением скорости системой безопасности, от времени хода n -го и предыдущего ($n-1$)-го поездов по этому перегону и длительности стоянки ($n-1$)-го поезда на следующей ($j+1$)-й станции ($T_{c(j+1)} [n-1]$):

$$T_{иоj}^{min} [n] = \varphi \left(T_{xj}^y [n], T_{xj}^y [n-1], T_{c(j+1)}^y [n-1] \right), \quad (1)$$

где $T_{xj}^y [n-1]$, $T_{xj}^y [n]$ — времена хода ($n-1$)-го и n -го поездов, задаваемые верхним контуром управления.

$T_{иоj}^{min} [n]$ линейно зависит от длительности стоянки предыдущего поезда на следующей станции [10]. Следовательно, выражение (1) регулировочной характеристики можно записать в виде

$$T_{иоj}^{min} [n] = \varphi \{ T_{xj}^y [n], T_{xj}^y [n-1] \} + T_{c(j+1)}^y [n-1]. \quad (2)$$

Получение регулировочных характеристик аналитически встречает трудности. Эти характеристики могут быть получены на имитационной модели. Данная статья посвящена разработке автоматической системы построения регулировочных характеристик перегонов как составной части ИТС управления движением поездов.

Для нахождения регулировочных характеристик используются модели линии метрополитена, которые входят в состав тренажера поездного диспетчера, разработанного РУТ (МИИТ) для ГУП «Московский метрополитен» [10–14].

1. Функции системы и составные части

В процессе разработки системы автоматического построения регулировочных характеристик были сформулированы требования к базам данных (БД), которые предоставляют

требуемую информацию для моделирования движения транспортных средств, а также обеспечивают сохранение рассчитанной информации. БД должна содержать:

- информацию по каждому перегону линии (план и профиль пути, скоростные ограничения, допустимый диапазон изменения времен хода по перегону);
- математическую модель подвижного состава, эксплуатируемого на данной линии;
- алгоритм автоматического управления движением поезда, обеспечивающий выполнение заданного времени хода (алгоритм функционирования регулятора времени хода);
- параметры и алгоритм работы системы обеспечения безопасности, эксплуатируемой на данной линии (длина рельсовых цепей, ограничения скорости в зависимости от положения «хвоста» впереди идущего поезда);
- удобный интерфейс для ввода перечисленных выше данных при необходимости построения регулировочных характеристик для перегонов различных линий, различного вида подвижного состава, различных систем обеспечения безопасности.

Алгоритм построения регулировочной характеристики перегона позволяет:

- моделировать последовательное движение поездов на перегоне;
- моделировать функционирование системы обеспечения безопасности при движении поездов по перегону;
- определять минимальный интервал по отправлению n -го поезда с j -й станции $T_{иоj}^{min}[n]$ при заданных величинах $T_{sj}^y[n]$, $T_{sj}^y[n-1]$, $T_{c(j+1)}[n-1]$, при котором n -й поезд двигается, не достигая ограничений скорости, заданных системой безопасности движения;
- реализовать нахождение и отображение регулировочных характеристик в табличной и графической форме.

БД, содержащая данные регулировочных характеристик перегонов каждой линии, должна быть открытой для внесения изменений кон-

фигурации линии и быть связана с программным обеспечением верхнего уровня системы управления движением поездов. В системе автоматического построения регулировочных характеристик следует предусмотреть функцию визуального отображения движения поездов по перегону. Данная функция предназначена для удобства работы эксплуатационного персонала и может быть использована в учебном процессе при подготовке специалистов [15, 16].

2. Регулировочные характеристики перегонов

В табл. 1 и 2 приведены результаты, полученные для различных перегонов метрополитенов Москвы и Чжэнчжоу КНР [17], на которых используется трехрежимная (разгон, выбег, торможение) энергооптимальная траектория движения поездов, обеспечивающая выполнение требуемого диапазона изменения времен хода. Регулятор времени хода при заданном $T_{sj}^y[n]$ находит точку выключения тяги по средней скорости движения в режиме тяги [7].

Графические изображения регулировочной характеристики для данных табл. 1 и 2 приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Регулировочные характеристики, полученные в автоматической системе построения регулировочных характеристик перегонов, хранятся в базе данных при фиксированном значении длительности стоянки. Учитывая линейность зависимости длительности минимального интервала по отправлению n -го поезда с j -й стоянки от длительности стоянки $(n-1)$ -го поезда на $(j+1)$ -й станции, его значение пересчитывается в алгоритме управления верхнего уровня как сумма плановой длительности стоянки и прогнозируемого значения задержки впереди идущего поезда. Линейность зависимости $T_{иоj}^{min}[n]$ от $T_{c(j+1)}[n-1]$ позволяет сократить число имитационных экспериментов, рассчитывая регулировочную характеристику для одного (например, планового) значения $T_{c(j+1)}[n-1]$.

Рассмотрим пример использования регулировочной характеристики, приведенной в табл. 2. Пусть время хода $(n-1)$ -го поезда, заданное верхним уровнем, для j -го перегона равно 120 с, фактическое время отправления этого поезда с j -й станции $t_{oj}^{\phi}[n-1] = 18$ ч 20 мин,

Таблица 1. Регулировочная характеристика перегона метрополитена г. Москвы

$T_{\text{ио}j}^{\text{min}} [n]$	$T_{\text{с}j}^y [n]$	$T_{\text{с}j}^y [n-1]$	$T_{\text{с}(j+1)}^y [n-1]$
84	159	159	20
85	156	159	20
87	153	159	20
90	150	159	20
91	148	159	20
82	156	156	20
83	153	156	20
87	150	156	20
88	148	156	20
81	153	153	20
84	150	153	20
85	148	153	20
81	150	150	20
82	148	150	20
80	148	148	20

Таблица 2. Регулировочная характеристика перегона метрополитена г. Чжэнчжоу

$T_{\text{ио}j}^{\text{min}} [n]$	$T_{\text{с}j}^y [n]$	$T_{\text{с}j}^y [n-1]$	$T_{\text{с}(j+1)}^y [n-1]$
94	130	130	20
95	125	130	20
111	120	130	20
112	115	130	20
113	110	130	20
114	105	130	20
116	100	130	20
128	95	130	20
90	125	125	20
106	120	125	20
107	115	125	20
108	110	125	20
110	105	125	20
111	100	125	20
124	95	125	20
101	120	120	20
103	115	120	20
104	110	120	20
105	105	120	20
106	100	120	20
119	95	120	20
98	115	115	20

Окончание таблицы 2

$T_{\text{юж}}^{\text{min}} [n]$	$T_{xj}^y [n]$	$T_{xj}^y [n-1]$	$T_{c(j+1)}^y [n-1]$
99	110	115	20
100	105	115	20
101	100	115	20
114	95	115	20
94	110	110	20
95	105	110	20
96	100	110	20
109	95	110	20
90	105	105	20
91	100	105	20
103	95	105	20
86	100	100	20
99	95	100	20
94	95	95	20

3D Scatter Plot with Different Line Styles

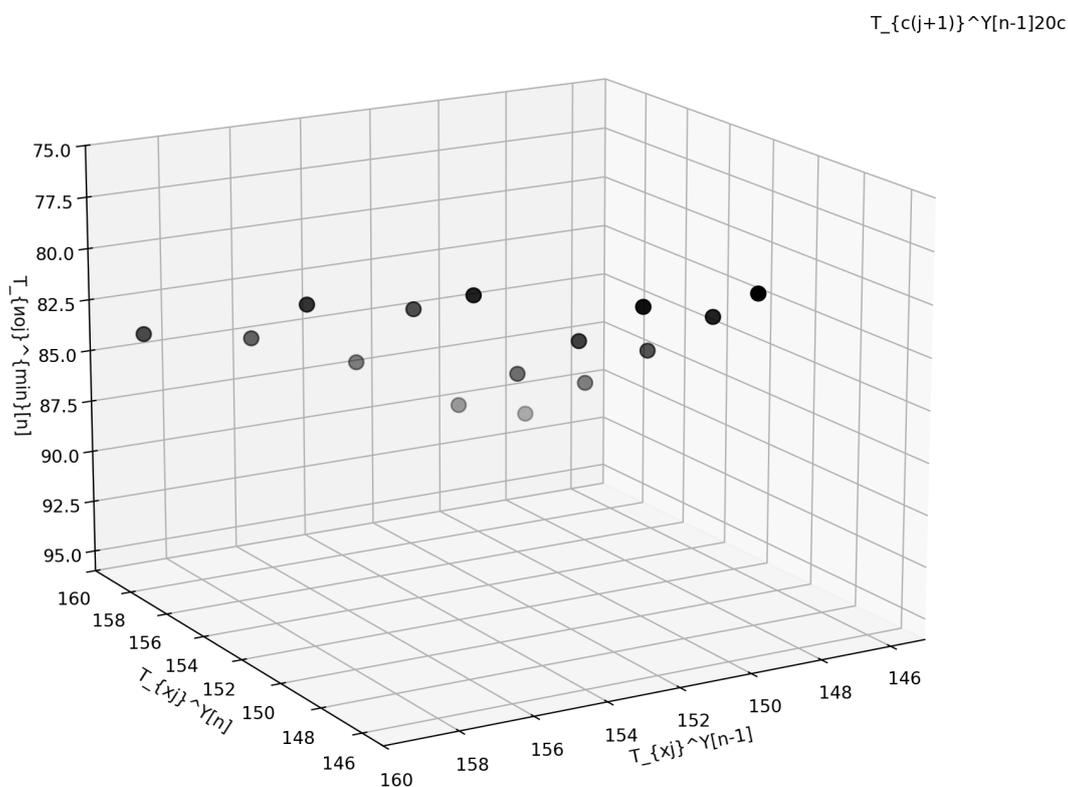
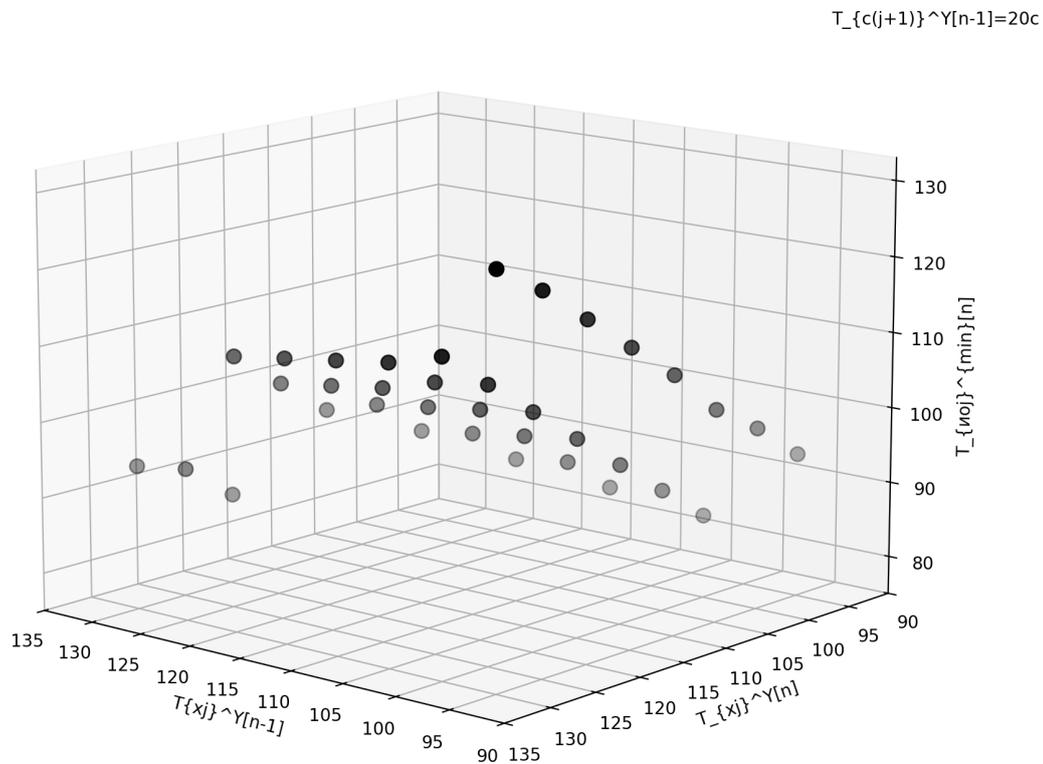


Рис. 1. Регулирующая характеристика перегона метрополитена г. Москвы

3D Scatter Plot with Larger Points

**Рис. 2.** Регулировочная характеристика перегона метрополитена г. Чжэнчжоу

плановая длительность стоянки $(n-1)$ -го поезда на $(j+1)$ -й станции — 20 с, экстраполятор возмущений прогнозирует задержку этого поезда на 3 с, n -й поезд на j -й станции задержан на 5 с, плановое время его отправления $t_{oj}^r[n] = 18 \text{ ч } 21 \text{ мин } 40 \text{ с}$. Он отправляется в 18 ч 21 мин 45 с. Его время хода, заданное плановым графиком, — 120 с. Учитывая задержку, время хода $T_{xj}^y[n]$ должно быть сокращено на 5 с. Данные табл. 2 позволяют определить минимальный интервал по отправлению $T_{юoj}^{min}[n]$, для компенсации опоздания по отправлению n -го поезда его время хода должно быть сокращено на 5 с и составлять 115 с, Тогда требуемый минимальный интервал по отправлению составляет $103 \text{ с} + 3 \text{ с} = 106 \text{ с}$. Этот интервал нереализуем, так как $18 \text{ ч } 21 \text{ мин } 45 \text{ с} - 18 \text{ ч } 20 \text{ мин} = 105 \text{ с} < 106 \text{ с}$, следовательно, время хода n -го поезда следует увеличить до 120 с. При этом минимальный интервал по отправлению составляет $101 \text{ с} + 3 \text{ с} = 104 \text{ с} < 105 \text{ с}$. В том случае, когда этот интервал нереализуем,

время хода n -го поезда увеличивается до величины реализуемого интервала.

Заключение

1. Предложенные принципы построения автоматической системы создания регулировочных характеристик позволяют получать зависимости минимального интервала по отправлению n -го поезда с j -й станции при известных временах хода этого и $(n-1)$ -го поезда по перегону, длительности стоянки $(n-1)$ -го поезда на $(j+1)$ -й станции.

2. Линейность зависимости минимального интервала по отправлению n -го поезда от длительности стоянки $(n-1)$ -го поезда на $(j+1)$ -й станции позволила получить удобную вычислительную процедуру построения регулировочных характеристик.

3. Предусмотрено встраивание системы построения регулировочных характеристик в интеллектуальную систему управления движением поездов. ▲

Библиографический список

1. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г. Интеллектуальные киберфизические системы управления движением внеуличного транспорта (2 часть) // Транспортное строительство. 2021. № 4. С. 19–23. EDN FAGEND.
2. Ребриков Д.Д. Зарубежные практики управления интеллектуальными транспортными системами: опыт Японии и Соединенных Штатов Америки // Государственное управление. Электронный вестник. 2024. № 104. С. 47–60. DOI: 10.55959/MSU2070-1381-104-2024-47-60.
3. Мировой и российский опыт применения интеллектуальных транспортных систем / С.В. Егоров [и др.] // Транспортное дело России. 2022. № 2. С. 130–136. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_130. EDN QHVGQH.
4. Коврей В., Дубешко Л. Интеллектуальная транспортная система в Минске // Наука и инновации. 2021. № 6 (220). С. 49–53. DOI: 10.29235/1818-9857-2021-6-49-53.
5. Транспортная система России // Заводы России — промышленные предприятия и производства [Электронный ресурс]. URL: <https://заводы.рф/publication/transportnaya-sistema-rossii> (дата обращения: 13.05.2022).
6. Сафронов А.И. Подходы к автоматизированному составлению плановых графиков движения пассажирских поездов Московского метрополитена, обеспечивающие экономичные, комфортные и безопасные перевозки // Актуальные проблемы техносферной безопасности: сборник трудов III Национальной научно-практической конференции РОАТ (Москва, 30–31 марта 2021 года). М.: РОАТ, РУТ (МИИТ), 2021. С. 141–147.
7. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов [и др.]; под ред. Л.А. Баранова. М.: Транспорт, 1990. С. 272.
8. Automatic Train Control Algorithms with Regulation Restrictions Adaptive to System State Changes / L. Loginova [et al.] // International Journal of Engineering Research & Science. 2016. Vol. 2, iss. 4. P. 85–96.
9. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Воробьева Л.Н. Связь ограничений на управление с состоянием системы в централизованных системах автоведения поездов // Сборник тезисов докладов третьей международной конференции «Системы безопасности на транспорте». Чехия, Пшибрам, 2007.
10. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Воробьева Л.Н. Алгоритмы для поездов метрополитена // Мир транспорта. 2007. Т. 5, № 2 (18). С. 104–113. EDN KLTPTR.
11. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения / Л.А. Баранов [и др.] // Надежность. 2021. Т. 21, № 2. С. 17–23. DOI: 10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23. EDN IPOKDQ.
12. Модели и механизмы безопасного интеллектуального управления развивающимися транспортными системами городских агломераций / Л.А. Баранов [и др.] // Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Международной научно-практической конференции (Москва, 25 мая 2023 года). М.: Российский университет транспорта, 2023. С. 38–44. DOI: 10.30932/9785002182794-2023-38-44. EDN TNJECG.
13. Баранов Л.А., Пудовиков О.Е., Балакина Е.П. Влияние прогноза рассогласования на качество управления в замкнутых автоматических системах // Электротехника. 2022. № 9. С. 8–15. DOI: 10.53891/00135860_2022_9_8. EDN MSAVVK.
14. Baranov L., Loginova L. Using models of complex systems in training // AIP Conference Proceedings: International Scientific and Practical Conference “Modeling in Education 2019” (Moscow, 2019, June 19–21). Vol. 2195. Moscow: American Institute of Physics Inc., 2019. P. 020001. DOI: 10.1063/1.5140101. EDN MIPKVB.
15. Обеспечение безопасности применения речевых технологий в работе оперативного персонала городских рельсовых транспортных систем / Е.П. Балакина [и др.] // Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXIX Международной научно-практической конференции (Москва, 15 декабря 2021 года). М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2021. С. 355–361. DOI: 10.25728/iccss.2021.94.35.056.
16. Интеграционный подход в обучении оперативных работников городских рельсовых транспортных систем / Л.А. Баранов [и др.] // Наука и техника транспорта. 2021. № 2. С. 22–31.
17. Yujun Lin, Xikui Wang. Urban Rail Transit ATC Systems // China Railway Publishing Co., Ltd. 2020. 156 p.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 246–253
DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-03-246-253

System for automatic construction of regulating characteristics of railway sections for centralized intelligent train traffic control systems

Information about authors

Baranov L. A., Doctor in Engineering, Professor. E-mail: baranov.miiit@gmail.com

Loginova L. N., PhD in Engineering, Associate Professor. E-mail: ludmilanv@mail.ru

Ermakova A. E., Postgraduate Student. E-mail: ermakova.alex28081994@yandex.ru

Yongqiang Z., Graduate Student. E-mail: zyq0526@yandex.ru

Russian University of Transport (MIIT), Department of Control and Protection of Information, Moscow

Abstract: the relevance of developing a system for automatic construction of regulating characteristics of railway sections for centralized train traffic control is discussed. Regulating characteristics allow determining the minimum permissible interval for train departure from the station, considering the given travel time of two consecutively moving trains and the specified dwell time of the leading train. The principles of constructing an automatic system for generating these characteristics are presented. Examples of the results of constructing adjustment characteristics for metro lines are provided.

Keywords: control system, autonomous operation, regulating characteristics of lines, train traffic, intelligent systems, urban rail transport, automatic control, transportation process, train traffic modeling

References

- Baranov L. A., Sidorenko V. G. *Intellektual'ny'e kiberfizicheskie sistemy` upravleniya dvizheniem vneulichnogo transporta (2 chast') // Transportnoe stroitel'stvo*. 2021. № 4. S. 19–23. EDN FAGEHD. (In Russian)
- Rebrikov D. D. *Zarubezhny'e praktiki upravleniya intellektual'ny'mi transportny'mi sistemami: opyt' Yaponii i Soedinenny'x Shtatov Ameriki // Gosudarstvennoe upravlenie. E'lektronny'j vestnik*. 2024. № 104. S. 47–60. DOI: 10.55959/MSU2070-1381-104-2024-47-60. (In Russian)
- Mirovoj i rossijskij opyt' primeneniya intellektual'ny'x transportny'x sistem / S. V. Egorov [i dr.] // *Transportnoe delo Rossii*. 2022. № 2. S. 130–136. DOI: 10.52375/20728689_2022_2_130. EDN QHBGQH. (In Russian)
- Kovrej V., Dubeshko L. *Intellektual'naya transportnaya sistema v Minske // Nauka i innovacii*. 2021. № 6 (220). S. 49–53. DOI: 10.29235/1818-9857-2021-6-49-53. (In Russian)
- Transportnaya sistema Rossii // Zavody` Rossii — promy'shlennye predpriyatiya i proizvodstva [E'lektronny'j resurs]*. URL: <https://zavody.rf/publication/transportnaya-sistema-rossii> (data obrashcheniya: 13.05.2022). (In Russian)
- Safronov A. I. *Podhody k avtomatizirovannomu sostavleniyu planovyh grafikov dvizheniya passazhirskih poezdov Moskovskogo metropolitena, obespechivayushchie ekonomichnye, komfortnye i bezopasnye перевозки // Aktual'nye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti: sbornik trudov III Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii ROAT (Moskva, 30–31 marta 2021 goda)*. M.: ROAT, RUT (MIIT). 2021. S. 141–147. (In Russian)
- Mikroprocessorny'e sistemy` avtovedeniya e'lektropodvizhnogo sostava / L. A. Baranov [i dr.]; pod red. L. A. Baranova*. M.: Transport, 1990. S. 272. (In Russian)
- Automatic Train Control Algorithms with Regulation Restrictions Adaptive to System State Changes / L. Loginova [et al.] // International Journal of Engineering Research & Science*. 2016. Vol. 2, iss. 4. P. 85–96.
- Baranov L. A., Balakina E. P., Vorob'eva L. N. *Svyaz' ogranichenij na upravlenie s sostoyaniem sistemy v centralizovannyh sistemah avtovedeniya poezdov // Sbornik tezisev dokladov tret'ej mezhdunarodnoj konferencii "Sistemy bezopasnosti na transporte". Chekhiya, Pshibram, 2007*. (In Russian)
- Baranov L. A., Balakina E. P., Vorob'eva L. N. *Algoritmy dlya poezdov metropolitena // Mir transporta*. 2007. T. 5, № 2 (18). S. 104–113. EDN KLTPPT. (In Russian)
- Intellektual'noe centralizovannoe upravlenie dvizheniem vneulichnogo gorodskogo zheleznodorozhnogo transporta v usloviyah intensivnogo dvizheniya / L. A. Baranov [i dr.] // Nadezhnost'*. 2021. T. 21, № 2. S. 17–23. DOI: 10.21683/1729-2646-2021-21-2-17-23. EDN IPOKQD. (In Russian)
- Modeli i mexanizmy` bezopasnogo intellektual'nogo upravleniya razvivayushhimisya transportny'mi sistemami gorodskix aglomeracij / L. A. Baranov [i dr.] // Intellektual'ny'e transportny'e sistemy: materialy` II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva, 25 maya 2023 goda)*. M.: Rossijskij universitet transporta, 2023. S. 38–44. DOI: 10.30932/9785002182794-2023-38-44. EDN TNJECG. (In Russian)
- Baranov L. A., Pudovikov O. E., Balakina E. P. *Vliyanie prognoza rassoglasovaniya na kachestvo upravleniya v zamknutyh avtomaticheskix sistemah // Elektrotehnika*. 2022. № 9. S. 8–15. DOI: 10.53891/00135860_2022_9_8. EDN MSAVNK. (In Russian)
- Baranov L., Loginova L. *Using models of complex systems in training // AIP Conference Proceedings: International Scientific and Practical Conference "Modeling in Education 2019" (Moscow, 2019, June 19–21)*. Vol. 2195. Moscow: American Institute of Physics Inc., 2019. P. 020001. DOI: 10.1063/1.5140101. EDN MIPKVB.
- Obespechenie bezopasnosti primeneniya rechevy'x tehnologij v rabote operativnogo personala gorodskix rel'sovy'x transportny'x sistem / E. P. Balakina [i dr.] // Problemy` upravleniya bezopasnost'yu slozhny'x sistem: materialy` XXIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva, 15 dekabrya 2021 goda)*. M.: Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN, 2021. S. 355–361. DOI: 10.25728/icccs.2021.94.35.056. (In Russian)
- Integracionny'j podhod v obuchenii operativny'x rabotnikov gorodskix rel'sovy'x transportny'x sistem / L. A. Baranov [i dr.] // Nauka i tekhnika transporta*. 2021. № 2. S. 22–31. (In Russian)
- Yujun Lin, Xikui Wang. *Urban Rail Transit ATC Systems // China Railway Publishing Co., Ltd*. 2020. 156 p. ISBN 9787113267346.