



УДК 656.222:004.94

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ И ПЕРЕСТАНОВКИ ГРАНИЦ УСТРОЙСТВ

КОКУРИН Иосиф Михайлович, д-р техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник¹; e-mail: kokyrinim@mail.ru
ПУШКИН Илья Андреевич, аспирант²; e-mail: usrobots@yandex.ru

¹Лаборатория проблем организации транспортных систем, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург

²Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

Представленная работа предлагает новую технологию расчета тормозных путей и длин блок-участков, учитывающую требования норм проектирования и эксплуатации, а также необходимость перестановки границ блок-участков для оптимизации видимости сигналов и размещения устройств. В основе исследования — анализ данных о профиле пути, параметрах движения поездов, а также нормативные документы и результаты моделирования. Предложена методика определения длин блок-участков автоблокировки при различных сценариях перестановки границ и направлениях движения поездов, обеспечивающая равенство суммарной длины блок-участков длине перегона. Технология позволяет рассчитывать длины блок-участков как при стандартных условиях, так и при перестановках устройств, гарантируя, что они будут обеспечивать условия безопасности. Результаты исследований расширяют научные и технические основы проектирования и внедрения систем управления движением поездов.

Ключевые слова: тяговые расчеты; параметры движения; ограничения скорости; режимы снижения скорости; расстояние снижения скорости; длина поезда, интервальное регулирование.

DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-04-327-331

▼ Введение

В современных условиях эксплуатации железнодорожного транспорта, с ростом скоростей движения и интенсивности перевозок, критически важным является точное определение длин блок-участков (БУ) и связанных с ними тормозных путей. Нормативные документы^{1,2,3,4} устанавливают требования к минимальной длине БУ, которая должна обеспечивать безопасное движение поездов, в том числе при экстренном торможении [1–3].

В соответствии с нормами максимальные тормозные пути на БУ трехзначной автоблокировки (АБ) должны быть не менее расчетных

длин экстренного торможения для всех категорий поездов при установленной скорости движения. С целью оптимизации пропускной способности на участках приближения к станциям и удаления от них длина первого и последнего БУ перегона определяется и поддерживается равной максимальным тормозным путем соответствующего расчетного поезда [4–6].

При проектировании и модернизации систем интервального регулирования движения поездов и автоматизации управления движением возникает необходимость в перестановке границ БУ и, соответственно, изменениях расположения светофоров. Основными причинами таких перестановок являются [7–9]:

- улучшение видимости сигнальных показаний: изменение расположения светофоров и границ БУ может быть продиктовано необходимостью обеспечения оптимальной видимости сигналов машинистами, особенно на кривых участках пути, при наличии препятствий или в условиях сложного рельефа;
- оптимизация размещения устройств: перестановка границ позволяет более рацио-

¹ Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30 декабря 2011 г. № 2864р.

² Инструкция по разработке графиков движения поездов в ОАО «РЖД». Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2006 г. № 2568р.

³ Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 12 мая 2016 г. № 867р.

⁴ Руководящие указания по расстановке светофоров автоблокировки и определению длин блок-участков на линиях с АЛСО. 660301. — СПб. ГУП «Гипротранссигналсвязь». 2003. — 32 с.

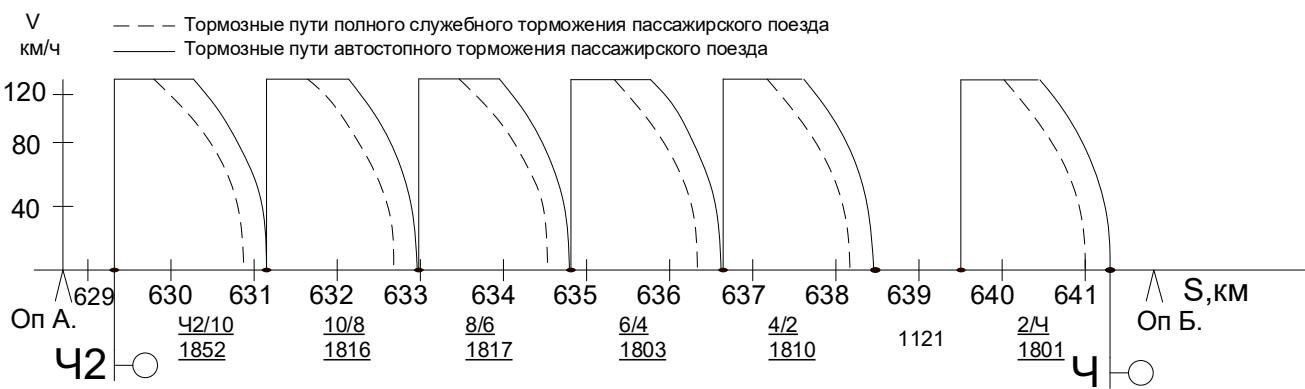


Рис. 1. Размещение на перегоне очереди тормозных путей, избыточной длины и тормозного пути последнего БУ

нально размещать инфраструктурные объекты, такие как светофоры, рельсовые цепи и другие элементы системы сигнализации и связи, минимизируя при этом вмешательство в существующую инфраструктуру и длину прокладываемого кабеля;

- адаптация к условиям эксплуатации: в процессе эксплуатации могут возникать ситуации, требующие корректировки границ БУ для повышения эффективности работы систем, например для улучшения пропускной способности или снижения времени проследования поездов.

В статье предлагается технология расчета тормозных путей и длин БУ, учитываяющая установку и перестановку границ участков и устройств.

1. Методика расчета тормозных путей и длин блок-участков

В данной работе рассматривается перегон, на котором определяются максимальные длины тормозных путей: для первого БУ (Ч2/10) — со скорости 120 км/ч от начала перегона; для последнего БУ (2/Ч) — до входного светофора в конце перегона (табл. 1).

Длина перегона (рис. 1) равна длине пути от выходного светофора Ч2 Оп. А до входного светофора Ч Оп. Б, а также сумме тормозных путей и избыточной длины. Сумма очереди максимальных тормозных путей перегона рассчитывается от начала БУ первого до конца последнего: $1852 + 1816 + 1817 + 1803 + 1810 + 1801 = 10\ 899$ м.

Разность длины перегона — 12 020 м и суммы тормозных путей — 10 899 м равна избыточной

длине: $12\ 020 - 10\ 899 = 1121$ м. Эта величина менее тормозного пути 1803 м на этом БУ и распределяется между всеми БУ перегона.

Для определения длин БУ 10/8, 8/6, 6/4 и 4/2 сумма очереди их тормозных путей (табл. 1), равная $1816 + 1817 + 1803 + 1810 = 7246$ м, добавляется к избыточной длине $7246 + 1121 = 8367$ м и делится на количество БУ в группе: $8367/4 = 2091,75$ м.

Равенство суммы длин БУ длине перегона необходимо для автоматического контроля свободности перегона и проверки расчетов: $1852 + 1801 + (2091,75 \cdot 4) = 12\ 020$ м.

По результатам тяговых расчетов длины блок-участков (БУ) перегона (табл. 2) составляют не менее величины тормозных путей расчетного поезда.

При избыточной длине БУ (7–9 м), превышающей необходимую для обеспечения равенства длин блок-участков, перегон делится на неравные по длине БУ.

2. Расчеты при перестановке границ устройств

Перестановка границ БУ напрямую влияет на их длины и, как следствие, на распределение избыточной длины и соблюдение нормативных требований. Далее рассматриваются сценарии с перестановкой светофора 8.

Первым делом рассматривается «четная перестановка» светофора 8 (табл. 3). При этом условии для соблюдения требований возникают следующие корректировки длин БУ:

- изменение длины БУ 8/6: длина БУ 8/6, которая ранее составляла 2091,75 м (согласно расчетам без перестановки), требует уменьшения.

Новая длина устанавливается равной 1820 м. Величина уменьшения составляет 271,75 м ($2091,75 - 1820 = 271,75$ м);

- изменение длины БУ 10/8: для компенсации уменьшения БУ 8/6 длина БУ 10/8 увеличивается на ту же величину: $2091,75 + 271,75 = 2363,5$ м;
- ограничение на длину БУ Ч2/10: важно отметить, что при таких перестановках длины БУ Ч2/10 и БУ 10/8 не выравниваются. Это обусловлено строгим требованием, согласно которому длина БУ Ч2/10 не должна превышать максимальный тормозной путь расчетного поезда, который составляет 1852 м.

Для оставшихся БУ в этой группе (БУ 8/6, 6/4 и 4/2) допускается выравнивание для дальнейшего расчета. Длины этих БУ (2091,75, 2091,75 и 1820 м) суммируются и делятся на их количество (3 БУ): $2091,75 + 2091,75 + 1820 = 6003,5$ м. $6003,5 \text{ м} / 3 \text{ БУ} = 2001,17$ м на каждый БУ 8/6, 6/4, 4/2.

Результаты тяговых расчетов (табл. 4) подтверждают, что определенные таким образом длины БУ перегона остаются не менее максимальных тормозных путей расчетного поезда.

Проверка соответствия суммарной длины БУ общей длине перегона для данного сценария (табл. 5) показывает: 1852 (БУ Ч2/10) + + 1801 (БУ 2/Ч) + 2363,5 (БУ 10/8) + (2001,17 · 3) = = 1852 + 1801 + 2363,5 + 6003,5 = 12 020 м. Данное равенство подтверждает корректность расчета и распределения длин БУ.

При той же «четной» перестановке светофора 8 в четном направлении происходит обратное распределение изменений:

- длина БУ 8/6 увеличивается до $2091,75 + 271,75 = 2363,5$ м;
- длина БУ 10/8 уменьшается до $2091,75 - 271,75 = 1820$ м;
- ограничение для БУ Ч2/10 и 2/Ч: как и в предыдущем сценарии, длины БУ Ч2/10 и 10/8 не приравниваются из-за требования сохранения длины БУ Ч2/10. В связи с чем длина БУ 10/8 остается без изменений и равной тормозному пути — 1820 м.

Длины БУ 8/6, 6/4 и 4/2 (2091,75, 2091,75 и 2363,5 м) суммируются и делятся на их количество (3 БУ): $(2091,75 + 2091,75 + 2363,5) / 3 = 6547 / 3 = 2182,3$ м. Эти длины представлены в табл. 6.

Таблица 1. Расчеты очереди максимальных тормозных путей расчетного поезда на перегоне

Наименование БУ	Тормозные пути, м
Ч2/10 Оп. А	1852
10/8	1816
8/6	1817
6/4	1803
4/2	1810
2/Ч Оп. Б	1801

Таблица 2. Расчеты тормозных путей и длин БУ до перестановки границ

Наименование БУ	Тормозные пути БУ, м	Длины БУ, м
Ч2/10 Оп. А	1852	1852
10/8	1816	2091,75
8/6	1820	2091,75
6/4	1813	2091,75
4/2	1812	2091,75
2/Ч Оп. Б	1801	1801

Таблица 3. Расчеты тормозных путей и длин БУ при перестановке границ для движения поездов в четном направлении

Наименование БУ	Длины БУ, м	Тормозные пути, м
Ч2/10 Оп. А	1852	1852
10/8	2363,5	1816
8/6	1820	1817
6/4	2091,75	1821
4/2	2091,75	1805
2/Ч	1801	1801

Таблица 4. Расчеты тормозных путей в условиях равенства группы длин БУ перегона при четной перестановке и четном направлении движения

Наименование БУ	Длины БУ, м	Тормозные пути, м
Ч2/10 Оп. А	1852	1852
10/8	2363,5	1816
8/6	2001,17	1817
6/4	2001,17	1815
4/2	2001,17	1800
2/Ч Оп. Б	1801	1801

Таблица 5. Расчет тормозных путей и длин БУ при нечетной перестановке светофора 8 и движении поездов в четном направлении

Наименование БУ	Длины БУ, м	Тормозные пути, м
Оп. А Ч2/10	1852	1852
10/8	1820	1816
8/6	2363,5	1820
6/4	2091,75	1821
4/2	2091,75	1805
Оп. Б 2/Ч	1801	1801

Таблица 6. Расчеты тормозных путей и длин БУ в условиях равенства группы длин БУ перегона при нечетной перестановке светофора 8 и четном направлении движения

Наименование БУ	Длины БУ, м	Тормозные пути, м
Ч2/10 Оп. А	1852	1852
10/8	1820	1816
8/6	2182,3	1817
6/4	2182,3	1815
4/2	2182,3	1800
2/Ч Оп. Б	1801	1801

Суммарная длина БУ равна длине перегона: 1852 (БУ Ч2/10) + 1801 (БУ 2/Ч) + 1820 (БУ 10/8) + + (2182,3 · 3) = 5473 + 6547 = 12 020 м. Данные тяговых расчетов (табл. 6) подтверждают, что длины БУ перегона составляют не менее величины максимальных тормозных путей расчетного поезда.

Заключение

Анализ результатов показал, что предложенная технология эффективно решает задачу определения оптимальных длин БУ при различных сценариях: как в стандартных условиях, так и при перестановках границ сигнальных устройств.

Установлено, что при перестановке границ БУ, обусловленной требованиями улучшения видимости сигнальных показаний и размещения устройств, разработанная технология позволяет корректно перераспределять длины БУ. Это достигается за счет учета как максимальных тормозных путей расчетных поездов, так и необходимости сохранения заданных длин блок-участков (в частности, БУ Ч2/10). Данное

положение подтверждается расчетами для четного и нечетного направлений движения.

Представленная технология вносит существенный вклад в развитие научной и технической базы для проектирования современных систем интервального разграничения и управления движением поездов. Полученные результаты обладают практической значимостью: они позволяют оптимизировать работу железнодорожного транспорта, повысить его безопасность и пропускную способность. ▲

Список источников

1. Кокурин И. М. Технология определения длин фиксированных блок-участков / И. М. Кокурин, И. А. Пушкин // Автоматика, связь, информатика. — 2022. — № 10. — С. 9–14. — DOI: 10.34649/AT.2022.10.10.002.
2. Vlasenko S. V. Railway Signalling & Interlocking: international Compendium / S. V. Vlasenko. — 2nd edition. — Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018. — 456 p.
3. Kokurin J. M. Technological Foundations of Traffic Controller Data Support Automation / J. M. Kokurin, D. V. Efanov // 2019 IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS 2019), Batumi, 13–16 сентября 2019 года. — Batumi, 2019. — Р. 8884410. — DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884410.
4. Александров А. Э. Использование имитационной системы ИСТРА для моделирования графика движения поездов / А. Э. Александров, А. В. Шипулин // Транспорт Урала. — 2011. — № 4(31). — С. 67–71. — EDN OOMTWD.
5. Кокурин И. М. Технологические основы инновационной системы автоматического управления движением поездов / И. М. Кокурин, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 5. — С. 19–23. — DOI: 10.34649/AT.2019.5.5.003.
6. Розенберг Е. Н. Современные системы управления движением поездов: отечественный и зарубежный опыт / Е. Н. Розенберг, Е. Е. Шухина, А. В. Озеров, В. М. Малинов. — М.: Издательские решения, 2020. — 210 с.
7. Hintze P. "But that's not the kilometre in the plan!" — the potential of georeferenced railway infrastructure data / P. Hintze, F. Pruter // Signal+Draht. — 2018. — Ausgabe 11. — Рр. 6–15.
8. Pan D. On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent Systems / D. Pan, Y. Zheng, C. Zhang // Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, China, 29–31 July 2010. — Рр. 4471–4476.
9. Кокурин И. М. Когнитивный метод для решения задач интервального регулирования движения поездов / И. М. Кокурин, И. А. Пушкин // Транспорт России: проблемы и перспективы — 2020: материалы Юбилейной международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года. — СПб.: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2020. — Т. 2. — С. 18–27.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2025, Vol. 11, No. 4, pp. 327–331
DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-04-327-331

Tractive Effort Calculations with Consideration for the Arrangement and Rearrangement of Block Section Boundaries

Information about authors

Kokurin J. M., Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher¹.

E-mail: kokyrinim@mail.ru

Pushkin I. A., Postgraduate Student². E-mail: usrobots@yandex.ru

¹Transport System Organization Problems Laboratory, N. S. Solomenko Transport Problem Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

²“Automation and Remote Control on Railways” Department, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg

Abstract: The study puts forth an innovative approach for calculating braking distances and block-section lengths taking into consideration both design and operational standards, as well as the necessity to adjust block-section boundaries to optimize signal visibility and equipment positioning. This research is grounded on an analysis of track profile data, train movement parameters, relevant regulatory documents, and results from simulation. A method is suggested for establishing the lengths of automatic block sections under various scenarios of boundary rearrangement and travel movement directions, ensuring that the total length of block sections equals the distance between stations. The technology enables the calculation of block section lengths under standard conditions and when the equipment is relocated, all while maintaining compliance with safety regulations. The findings provide essential scientific and technical support for the design and implementation of train traffic control systems.

Keywords: tractive effort calculations; train movement parameters; speed limitations; speed reduction mode; speed reduction distance; train length; headway control.

References

1. Kokurin I. M., Pushkin I. A. Tekhnologiya opredeleniya dlin fiksirovannykh blok-uchastkov [Technology for determining the lengths of fixed block sections]. *Avtomatika, svyaz'* informatika [Automation, Communications, Informatics]. 2022, Iss. 10, pp. 9–14. DOI: 10.34649/AT.2022.10.10.002. (In Russian)
2. Vlasenko S. V. Railway Signalling & Interlocking: international Compendium, 2nd ed. Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018, 456 p.
3. Kokurin J. M., Efanova D. V. Technological Foundations of Traffic Controller Data Support Automation. 2019 IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTs 2019), Batumi, 13–16 September 2019. Batumi, 2019, p. 8884410. DOI: 10.1109/EWDTs.2019.8884410.
4. Aleksandrov A. E., Shipulin A. V. Ispol'zovanie imitatsionnoy sistemy ISTRA dlya modelirovaniya grafika dvizheniya poezdov [Using the ISTRA simulation system for train schedule modelling]. *Transport Urala* [Ural Transport]. 2011, Iss. 4(31), pp. 67–71. (In Russian)
5. Kokurin I. M., Efanova D. V. Tekhnologicheskie osnovy innovatsionnoy sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem poezdov [Technological foundations of an innovative automatic train control system]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communications, Informatics]. 2019, Iss. 5, pp. 19–23. DOI: 10.34649/AT.2019.5.5.003. (In Russian)
6. Rozenberg E. N., Shukhina E. E., Ozerov A. V., Malinov V. M. Sovremennye sistemy upravleniya dvizheniem poezdov: otechestvennyy i zarubezhnyy opyt [Modern train control systems: domestic and foreign experience]. Moscow: Izdatel'skie resheniya Publ., 2020, 210 p. (In Russian)
7. Hintze P., Pruter F. “But that’s not the kilometre in the plan!” — the potential of georeferenced railway infrastructure data. *Signal+Draht*, 2018, Iss. 11, pp. 6–15.
8. Pan D., Zheng Y., Zhang C. On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent Systems. Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, China, 29–31 July 2010, pp. 4471–4476.
9. Kokurin I. M., Pushkin I. A. Kognitivnyy metod dlya resheniya zadach interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov [Cognitive method for solving interval train regulation problems]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2020: materialy Yubileynoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 10–11 noyabrya 2020 goda* [Russian Transport: Problems and Prospects — 2020: proceedings of the Jubilee International Scientific and Practical Conference, Saint Petersburg, 10–11 November 2020]. St. Petersburg: Institut problem transporta im. N. S. Solomenko RAN Publ., 2020, vol. 2, pp. 18–27. (In Russian)