



Technical Conference AAI Automotive and Tractor-Building in Russia: Development Priorities and Personnel Training]. MSTU «МА-МТ», 2012.

11. Molotilov B.V., Mironov L.V., Petrenko A.G. et al. Kholodnokatanye elektrotekhnicheskie stali. Sprav. izd. [Cold-rolled electrical steel. Ref. ed.]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1989, 168 p.

12. Mustafaev R.A., Nabiev M.A., Guliev Z.A., Gadzhibalaev N.M. K approksimatsii krivoi namagnichivaniya [Approximation of the magnetization curve]. *Elektrichestvo [Electricity]*, 2004, No. 5.

### Информация об авторах

*Иванов Владислав Сергеевич* – аспирант кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Vladislav-Sergeevich-Irgups@mail.ru

*Мельниченко Олег Валерьевич* – д. т. н., проф., заведующий кафедрой «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Olegmelnval@mail.ru

*Дурных Валерий Владимирович* – начальник Восточно-Сибирской дирекции моторвагонного подвижного состава, г. Иркутск, e-mail: V\_durnyh@mail.ru

### Для цитирования

Иванов В. С. Математическое моделирование тягового трансформатора электропоезда переменного тока серии ЭД9Э в среде имитационного моделирования MATLAB Simulink / В. С. Иванов, О. В. Мельниченко, В. В. Дурных // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 59, № 3. - С. 57–68. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).57-68.

### Authors

*Ivanov Vladislav Sergeevich* – Ph.D. of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Vladislav-Sergeevich-Irgups@mail.ru

*Mel'nichenko Oleg Valer'evich* – Doctor of Engineering Science, Prof., head of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Olegmelnval@mail.ru

*Durnykh Valerii Vladimirovich* – head of the East-Siberian Directorate of railcar rolling stock, Irkutsk, e-mail: V\_durnyh@mail.ru

### For citation

Ivanov V. S., Mel'nichenko O. V., Durnykh V. V. Mathematical modeling of a traction transformer of an alternating current electric train of the ED9E series in a simulation environment MATLAB Simulink. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2018, Vol. 59, No. 3, pp. 57–68. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).57-68.

УДК 629.4

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76

**П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский, И. А. Худоногов**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

*Дата поступления: 28 сентября 2018 г.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН САМОПРОИЗВОЛЬНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ТОРМОЗОВ ПОЕЗДА В ГРАНИЦАХ КРАСНОЯРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные вопросы повышения управляющих качеств тормозов грузового поезда путем совершенствования контура ликвидации сверхзарядного давления, в частности модернизации клапана мягкости. Для совершенствования тормозных средств и исключения самопроизвольных срабатываний определено влияние профиля пути на приборы торможения. С целью оценки влияния профиля пути в местах наиболее частого срабатывания автотормозов рассмотрен профиль пути и определены места наиболее частого срабатывания автотормозов. Исследованы и определены причины самопроизвольных срабатываний автотормозов. Представлены экспериментальные исследования статических характеристик поршневого пневматического реле и диафрагменного пневматического реле. Проанализирована конструкция и работа уравнительной части крана машиниста усл. № 395. Сформулирована проблема срабатываний автотормозов поезда в результате перезарядки тормозной сети поезда. Произведено теоретическое обоснование необходимости модернизации тормозных средств подвижного состава железных дорог. Выявлены недостатки уравнительной части крана машиниста усл. № 395, позволяющие произвести дальнейшую модернизацию устройства с целью решения задачи повышения управляющих качеств тормозной системы, связанные с человеческим фактором во время зарядки и отпуска тормозов подвижного состава. Предложена модернизированная уравнительная часть крана машиниста. Предложенное исполнение уравнительной части крана машиниста повысит его чувствительность к перепадам давления в тормозной магистрали, связанным с продольно-динамическими реакциями поезда, своевременная компенсация подобного рода разрядок снизит количество самопроизвольных срабатываний автотормозов по причине продольно-динамических реакций. Приведены выводы и рассмотрен вопрос о дальнейшем совершенствовании тормозных средств подвижного состава железных дорог.

**Ключевые слова:** самопроизвольные срабатывания, перезарядка воздухораспределителя, уравнительная часть крана машиниста, автотормоза, безопасность движения.

**P. Yu. Ivanov, N. I. Manuilov, E. Yu. Dul'skii, I. A. Khudonogov**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

*Received: September 28, 2018*



## IMPROVING THE CONTROLLABILITY OF BRAKES OF TRAINS

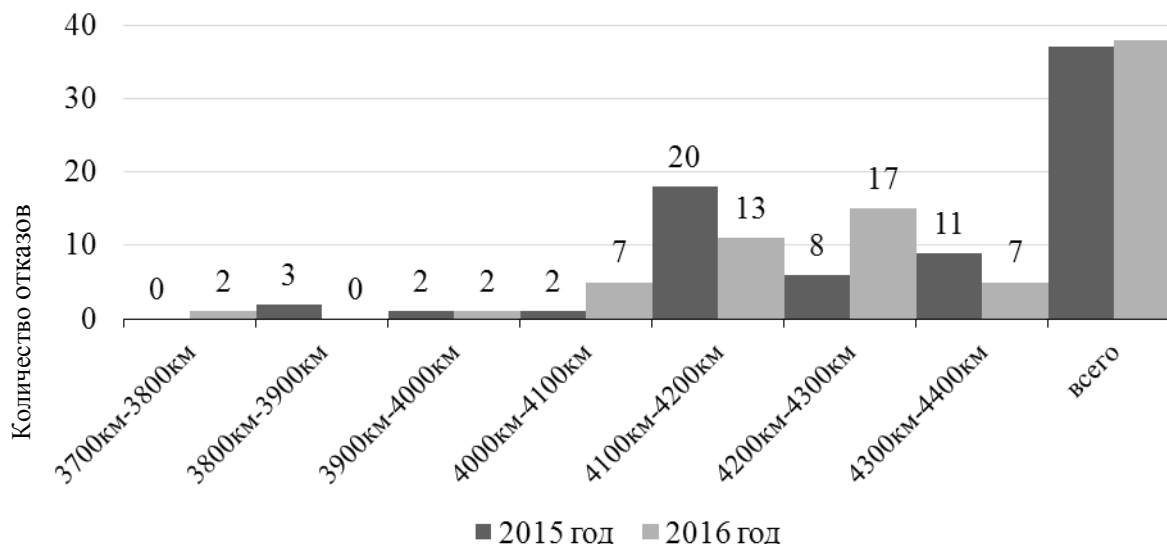
**Abstract.** The article deals with topical issues on increasing the controllability of the brakes of a freight train, by improving the contour of elimination of supercharged pressure, in particular, the modernization of the softness valve. To improve the braking facilities and to exclude spontaneous actuation, the influence of the path profile on the braking devices has been determined. In order to assess the influence of the track profile in the places of the most frequent activation of autobrakes, the track profile is considered and the places for the most frequent activation of autobrakes are determined. The authors investigate and determine the reasons of spontaneous actuation of autobrakes. The paper presents experimental studies of the static characteristics of a piston pneumatic relay and a diaphragm pneumatic relay. The design and operation of the equalizing part of the crane operator No. 395 are analyzed. The problem of operation of train brakes as a result of recharging the brake network of a train is formulated. The theoretical substantiation of the necessity of modernization of the braking facilities of railway rolling stock is made. The drawbacks of the equalizing part of the operator's crane No. 395 are found, which allows further modernization of the device, in order to solve the problem of increasing the controllability of the braking system associated with the human factor during charging and releasing of rolling stock brakes. The authors propose a modernized equalizing part of the operator's crane. The proposed execution of the equalizing part of the operator's crane will increase its sensitivity to pressure drops in the brake line associated with the longitudinal-dynamic train responses. Timely compensation of this kind of discharge will reduce the number of spontaneous actuation of autobrakes due to longitudinal-dynamic responses. The conclusions are drawn and the question of further improvement of the braking facilities of rolling stock of railways is considered.

**Keywords:** spontaneous actuation, recharging of the air distributor, equalizing part of the crane operator, auto brake, safe driving.

Автоматические тормоза подвижного состава железных дорог являются одним из главных средств обеспечения безопасности движения поездов по всей сети ОАО «РЖД». Они оказывают существенное воздействие на уровень пропускной и провозной способностей железных дорог в целом. К контролю исправного состояния тормозного оборудования со стороны локомотивной бригады предъявляются высокие требования. Машинист локомотива обязан постоянно следить за целостностью тормозной магистрали поезда и в случае вероятного разрыва немедленно остановить поезд

для осуществления диагностики тормозной системы посредством пробы тормозов.

Существует проблема самопроизвольных срабатываний тормозов поезда [1–5]. Для совершенствования тормозных средств и исключения самопроизвольных срабатываний было определено влияние профиля пути на приборы торможения. Анализ статистических данных Красноярской железной дороги за 2015–2016 гг. показал, что наибольшее количество несанкционированного срабатывания автотормозов происходит на участке Базаиха – Иланская (рис. 1).



**Рис. 1.** Количество зафиксированных самопроизвольных срабатываний тормозов на Красноярской железной дороге за 2015–2016 гг.

С целью оценки влияния профиля пути в местах наиболее частого срабатывания автотормозов

рассмотрим профиль пути на данных километрах (рис. 2–7).



Базаиха 6 мин

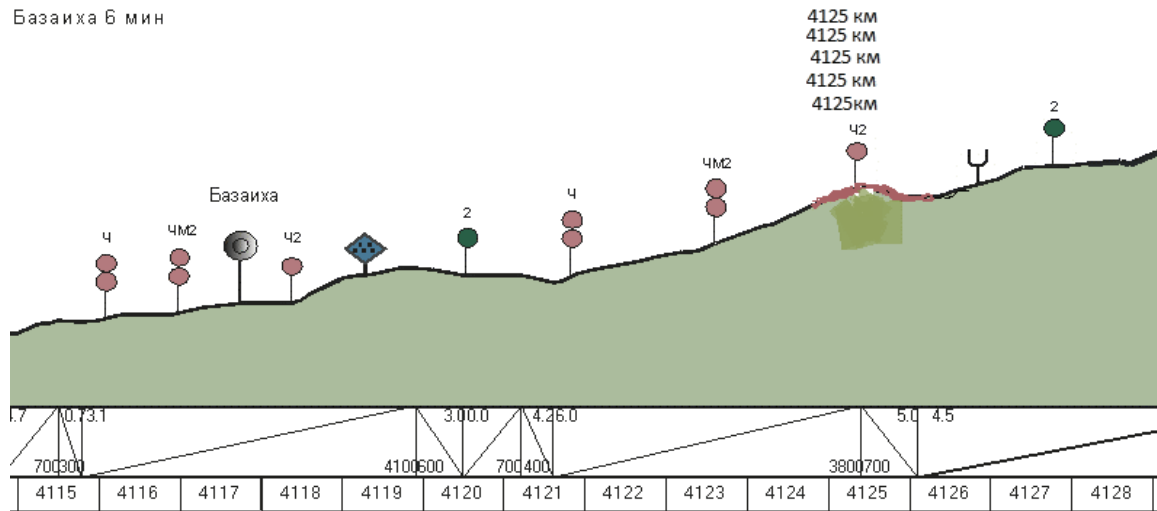


Рис. 2. Профиль участка пути 4115 км – 4128 км

Зыково - Сорокино 26 мин

Сорокино - Таёжный 12 мин

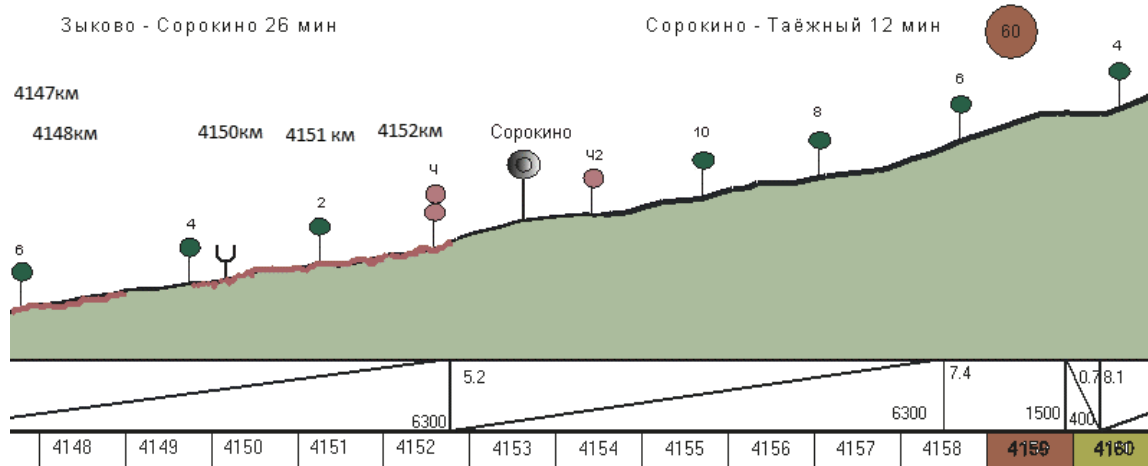


Рис. 3. Профиль участка пути 4148 км – 4160 км

Камарчага - Балай 26 мин

Балай - Уяр 24 мн

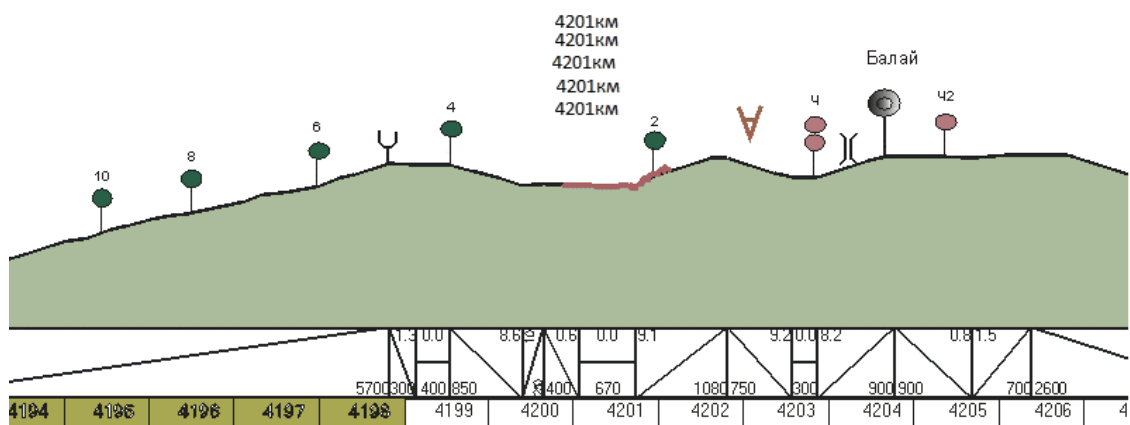


Рис. 4. Профиль участка пути 4194 км – 4206 км



Балай - Уяр 24 мин

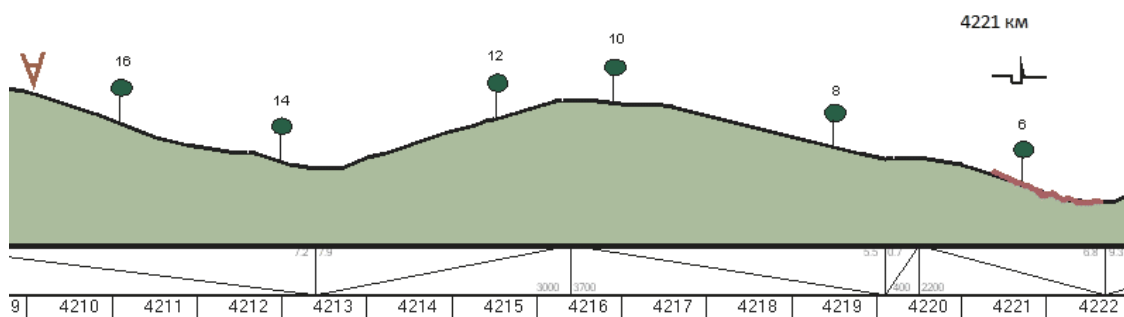


Рис. 5. Профиль участка пути 4210 км – 4222 км

Уяр - Громадская 13 мин

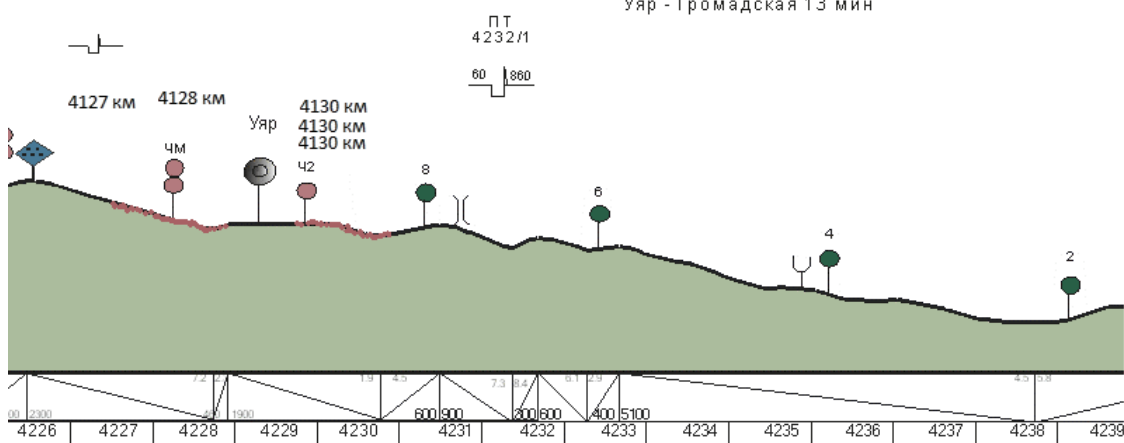


Рис. 6. Профиль участка пути 4226 км – 4239 км

Иланка - Иланская 32 мин

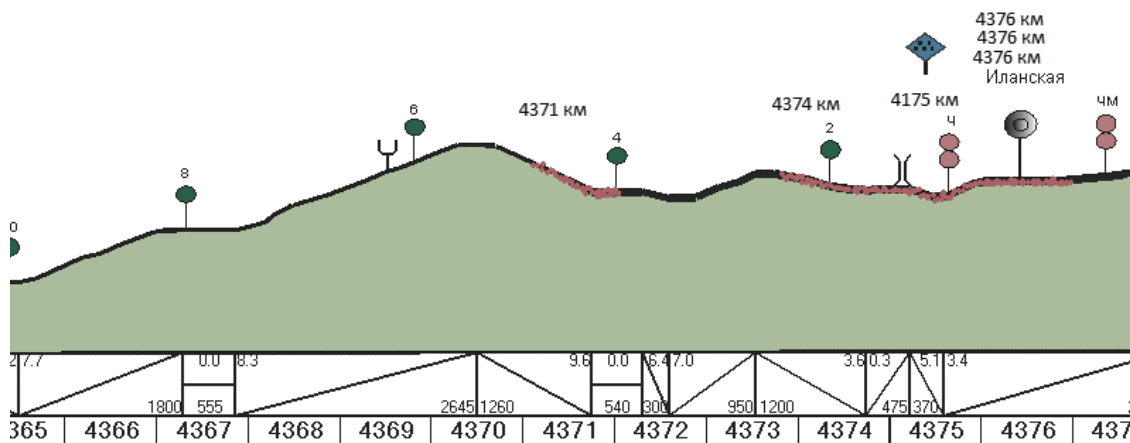


Рис. 7. Профиль участка пути 4365 км – 4377 км

Проанализировав данные профиля пути, увидим, что наиболее частое срабатывание автотормозов происходит в местах затяжных спусков либо на профиле, резко изменяющемся по знаку уклона от положительного к отрицательному и наоборот. Условно такие места можно охарактеризовать как «трамплины», ямы, перепады по высоте, где проис-

ходит набегание хвостовой части поезда на головную. В связи с этим из-за продольно-динамических реакций в тормозной магистрали происходит отток воздуха с хвостовой части состава в головную [4–7]. Эти процессы, в свою очередь, негативно влияют на нормальную работу тормозных приборов, приводя к самопроизвольному срабатыванию тор-



мозов и, как следствие, к задержкам поездов, что отрицательно влияет на весь перевозочный процесс.

В результате теоретической оценки тормозного оборудования в процессе реакции поезда был сделан вывод о суперпозиции следующих факторов:

– изменение давления за счет изменения геометрических параметров концевых рукавов от растяжения и сжатия фрикционных аппаратов автосцепных устройств;

– инерция массы сжатого воздуха, проявляющаяся при резком изменении скорости движения подвижного состава в результате продольно-динамической реакции поезда;

– инерция элементов управления тормозного оборудования, приходящих в движение в результате ускорения, действующего на собственную массу диафрагмы магистральной части воздухо-распределителя.

Комплексное воздействие данных факторов на процесс самопроизвольного срабатывания тормозов приведено на схеме, изображенной на рис. 8.

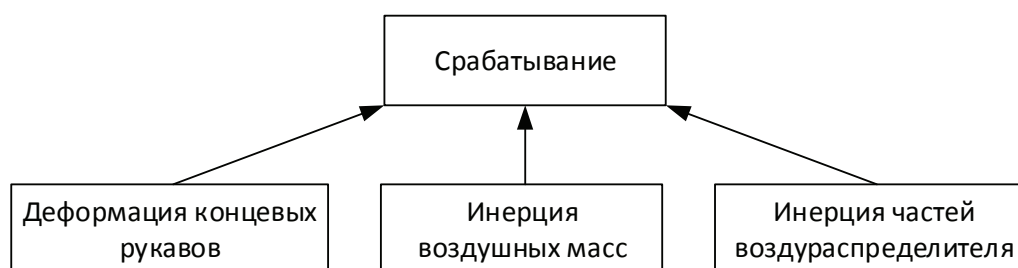


Рис. 8. Причины самопроизвольного срабатывания тормозов

Вычислим суммарное влияние всех составляющих давления, возникающего вследствие реакции поезда:

$$\Sigma P_{pn} = P_0 + \Delta P_V = 0,33 \text{ кгс/см}^2, \quad (1)$$

где  $P_0$  – давление, эквивалентное силам инерции, действующим на диафрагму магистральной части, по расчетам может достигнуть  $0,22 \text{ кгс/см}^2$ ;

$P_{дин}$  – разрядка, возникающая в хвостовой части поезда вследствие инерции массы сжатого воздуха, по расчетам может достигнуть  $0,095 \text{ кгс/см}^2$ ;

$\Delta P_V$  – изменение давления вследствие деформации концевых рукавов, по расчетам может достигнуть  $0,018 \text{ кгс/см}^2$ .

Наложение всех трех составляющих может привести к срабатыванию воздухо-распределителя № 483 на торможение. Самопроизвольное срабатывание фиксируется датчиком № 418, который выявляет срабатывание воздухо-распределителя № 483 через дополнительную разрядку. Дополнительная разрядка, возникшая не по причине снижения давления в уравнительном резервуаре крана машиниста, вовремя не компенсируется уравнительной частью крана машиниста, что происходит за-за инертных свойств поршня [8, 9].

Произведем сравнение статических характеристик поршневого пневматического реле крана машиниста и диафрагменного пневматического реле воздухо-распределителя для оценки их инертных свойств. В ходе проведения данного эксперимента, описанного в статье [9], получены статические характеристики диафрагмы и поршня, которые необходимо сравнить для того, чтобы произвести обоснованную модернизацию крана машиниста, заключающуюся в замене поршневого пневматического реле на диафрагменное.

По результатам эксперимента было выявлено следующее: с увеличением усилия, приложенного к диафрагме, увеличивается и ее перемещение. Для поршневого реле было выявлено то, что поршень не перемещался до того момента, пока к нему не прикладывалось усилие величиной в  $0,2 \text{ кгс/см}^2$  [10, 11].

Сопоставляя две полученные статические характеристики на рис. 9, видим, что диафрагменное пневматическое реле имеет высокую чувствительность и при нарастании давления в тормозной магистрали сразу реагирует на компенсацию утечки для восстановления давления.

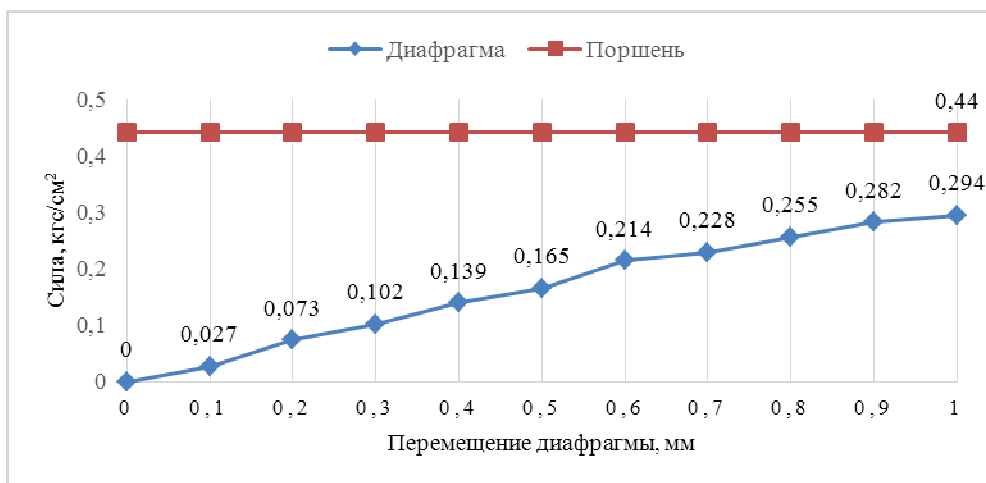


Рис. 9. Статические характеристики поршня и диафрагмы

Из сравнительной диаграммы видно, что у поршневого реле, установленного в кране машиниста, чувствительность находится на уровне ниже, чем  $\Sigma P_{pn}$ , а у диафрагменной реакция возникает при малейшем усилии. Это объясняет опережение срабатывания датчика № 418 [12, 13].

Данное пневматическое реле сможет компенсировать перепады давления, образовавшиеся за счет дополнительной разрядки воздухораспределителя № 483. При этом, если оно окажется по чувствительности сопоставимо с диафрагмой воздухораспределителя № 483, находящейся в магистральной части, значительно снизится количество самопроизвольных срабатываний автотормозов и,

тем самым, количество вынужденных остановок для проверки исправности тормозной магистрали путем проведения сокращенного опробования автотормозов.

Одной из причин данной несогласованности приборов, приводящей к самопроизвольному срабатыванию, является несбалансированная чувствительность приборов и устройств управления тормозами.

Сбалансировать чувствительность можно путем повышения чувствительности крана машиниста путем установки в его уравнительную часть диафрагмы взамен поршня (рис. 10) [14–17].

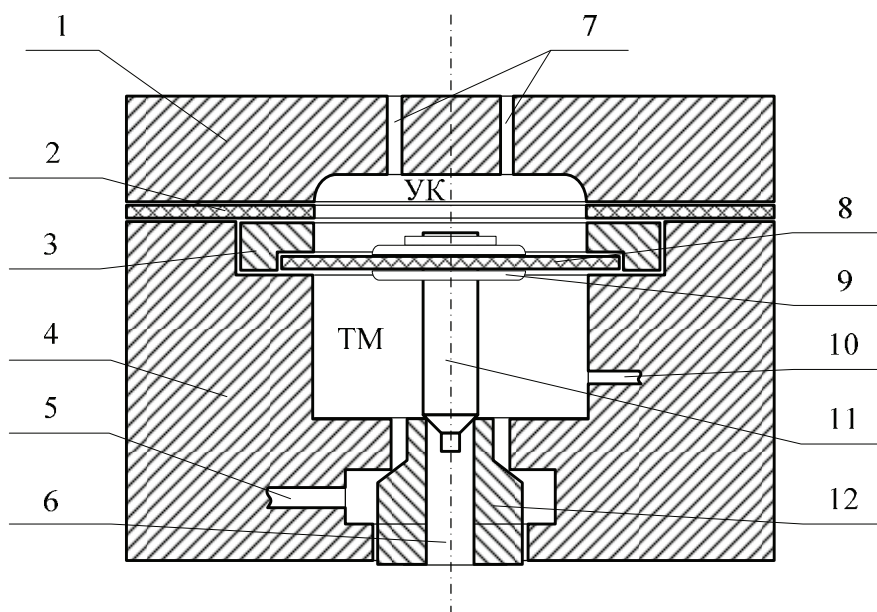


Рис. 10. Модернизированная уравнительная часть крана машиниста усл. № 395:

- 1 – корпус средней части; 2 – уплотнительная резиновая прокладка; 3 – прижимное кольцо; 4 – корпус уравнительной части; 5 – питающая магистраль; 6 – атмосферный канал; 7 – уравнительный и золотниковый клапаны; 8 – диафрагма; 9 – прижимная шайба; 10 – тормозная магистраль; 11 – тело выпускного клапана; 12 – двухседельчатый клапан



Предложенное исполнение уравнивающей части крана машиниста повысит его чувствительность к перепадам давления в тормозной магистрали, что обусловлено продольно-

динамическими реакциями поезда. Своевременная компенсация подобного рода разрядок снизит количество самопроизвольных срабатываний авто-тормозов в поездах с высокой плотностью.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава: протокол заседания Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 6-7 мая 2014 г. № 60 (URL: <http://base.garant.ru/57410845/>, дата обращения: 11.10.2017).
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.12.2017 № 2580р «О вводе в действие Регламента взаимодействия работников, связанных с движением поездов, с работниками локомотивных бригад при возникновении аварийных и нестандартных ситуаций на путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД» (URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=709942&rnd=299965.1273311152&dst=100007&fld=134#0>, дата обращения: 27.01. 2018)
3. Иванов П.Ю. Влияние климатических условий на плотность тормозной сети поезда в эксплуатации / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Актуальные вопросы и перспективы развития современной науки: материалы II Межд. науч.-практ. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург). – 2017. – № 12-2 (34). – С. 48–57.
4. Иванов П.Ю. Моделирование работы резиновых уплотнений тормозной сети подвижного состава в условиях низких температур / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Современные технологии, системный анализ, моделирование. 2017. – № 3 (55). – С. 112–119.
5. Иванов П.Ю. Исследование работы стабилизатора крана машиниста усл. № 395 / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. – 217 с. – С. 63–69.
6. Иванов П.Ю. Устройство контроля плотности тормозной магистрали поезда / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов // Наука и молодежь: Сборник трудов Первой Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск: ИрГУПС, 2015. – 870 с. С. 58–62.
7. Иванов П.Ю. Математическое моделирование процесса нагрева изоляции обмотки статора асинхронной вспомогательной машины электровоза / П.Ю. Иванов, Е.Ю. Агафонов, Е.Ю. Дульский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1 (49). С. 183–189.
8. Иванов П.Ю. Интеллектуальная система тормозной сети поезда / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Наука и молодежь: Сборник трудов Второй Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск: ИрГУПС, 2016. – 845 с. С. 150–156.
9. Иванов П.Ю. Исследование причин самопроизвольного срабатывания автотормозов грузовых поездов / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, А.М. Худоногов, Е.Ю. Дульский // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы восьмой международной научно-практической конференции 2017 г. Иркутск: В 2 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2017. – 864 с. – С. 399–404.
10. Усольцев А.А. Общая электротехника / А.А. Усольцев. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 301 с.
11. Иванов П.Ю. Возможности улучшения базовых показателей перевозочного процесса на участке Тайшет-Таксимо / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, А.М. Худоногов, Е.Ю. Дульский, В.Н. Иванов, Н.Н. Гарев // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы восьмой международной научно-практической конференции 2017 г. Иркутск: В 2 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2017. – 864 с. – С. 453–456.
12. Дульский Е.Ю. Определение угловых коэффициентов излучения в программном комплексе «MSC Marc» / Е.Ю. Дульский, Н.С. Доценко, Н.Н. Гарев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3 (39). – Иркутск: ИрГУПС. С. 85–89.
13. Хрусталева Б.М., Несенчук А.П., Романюк В.Н. Техническая термодинамика / Б.М. Хрусталева, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 486 с.
14. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава / В.Р. Асадченко. М.: Маршрут, 2006. – 392 с.
15. Афонин Г.С. Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава / Г.С. Афонин, В.Н. Барщенков, Н. В. Кондратьев. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
16. Жуков Н.П. Гидрогазодинамика: учебное пособие / Н.П. Жуков. – Там-бов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 92 с.
17. Худоногов А.М., Иванов П.Ю., Мануилов Н.И., Дульский Е.Ю. Интеллектуальная система диагностики тормозной сети поезда / А.М. Худоногов, П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. № 1.

## REFERENCES

1. Pravila tehničeskogo obsluživaniya tormoznogo oborudovaniya i upravleniya tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: protokol zasedaniya Soveta po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 6-7 maya 2014 g. No. 60 [Rules for the maintenance of brake equipment and railway rolling brake control: Minutes of the meeting of the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States No. 60 of May 6–7, 2014]. (URL: <http://base.garant.ru/57410845/>, access date: 11.10.2017).



2. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 12.12.2017 No. 2580r «O vvode v deistvie Reglamenta vzaimodeistviya rabotnikov, svyazannykh s dvizheniem poezdov, s rabotnikami lokomotivnykh brigad pri vozniknovenii avariinykh i nestandartnykh situatsii na putyakh obshchego pol'zovaniya infrastruktury OAO «RZhD» [Order of JSC Russian Railways of 12.12.2017 No. 2580r "On the implementation of the Regulation on the interaction of workers associated with train traffic with employees of locomotive crews in the event of emergency and non-standard situations on the public routes of the infrastructure of JSC Russian Railways"]. (URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=709942&rnd=299965.1273311152&dst=100007&fld=134#0>, access date: 27.01. 2018)
3. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Vliyanie klimaticheskikh uslovii na plotnost' tormoznoi seti poezda v ekspluatatsii [Influence of climatic conditions on the density of the brake network of a train in operation]. *Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki: materialy II Mezhd. nauch.-prakt. konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (g. Sankt-Peterburg)* [Actual issues and prospects for the development of modern science: materials II Int. scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists (St. Petersburg)], 2017, No. 12-2 (34), pp. 48–57.
4. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Modelirovanie raboty rezinovykh uplotnenii tormoznoi seti podvizhnogo sostava v usloviyakh nizkikh temperatur [Modeling the operation of rubber seals for the brake network of rolling stock at low temperatures]. *Sovremennye tekhnologii, sistemnyi analiz, modelirovanie* [Modern technologies, system analysis, modeling], 2017, No. 3 (55), pp. 112–119.
5. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Issledovanie raboty stabilizatora krana mashinista usl. No. 395 [Investigation of the operation of the driver's crane stabilizer No. 395]. *Innovatsionnye proekty i tekhnologii mashinostroitel'nykh proizvodstv: Materialy vtoroi vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Innovative Projects and Technologies of Machine-Building Production: Materials of the Second All-Russian Scientific and Technical Conference]. Omsk state transport un-ty. Omsk, 2017, 217 p., pp. 63–69.
6. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I. Ustroistvo kontrolya plotnosti tormoznoi magistrali poezda [A device for monitoring the density of the brake line of a train]. *Nauka i molodezh': Sbornik trudov Pervoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: Collection of papers of the First All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2015, 870 p., pp. 58–62.
7. Ivanov P.Yu., Agafonov E.Yu., Dul'skii E.Yu. Matematicheskoe modelirovanie protsessa nagreva izolyatsii obmotki statora asinkhronnoi vspomogatel'noi mashiny elektrovoza [Mathematical modeling of the heating process of the insulation of the stator winding of an asynchronous auxiliary machine of an electric locomotive]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2016, No. 1 (49), pp. 183–189.
8. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Intellektual'naya sistema tormoznoi seti poezda [Intellectual system of the brake network of a train]. *Nauka i molodezh': Sbornik trudov Vtoroi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Science and Youth: Collection of papers of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2016, 845 p., pp. 150–156.
9. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Khudonogov A.M., Dul'skii E.Yu. Issledovanie prichin samoproizvol'nogo sbratyvaniya avtotormozov gruzovykh poezdov [Investigation of the causes of spontaneous triggering of automatic brakes of freight trains]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy vos'moi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii 2017 g* [Transport Infrastructure of the Siberian Region: Materials of the Eighth International Scientific Practical Conference of the year 2017]. Irkutsk: in 2 vols. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017, 864 p., pp. 399–404.
10. Usoftsev A.A. Obshchaya elektrotehnika [General Electrical Engineering]. St. Petersburg : SPbGU ITMO Publ., 2009, 301 p.
11. Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Khudonogov A.M., Dul'skii E.Yu. et al. Vozmozhnosti uluchsheniya bazovykh pokazatelei perevoznogo protsessa na uchastke Taishet-Taksimo [Possibilities for improving the basic indicators of the transportation process on the section Taishet-Taksimo]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy vos'moi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii 2017 g* [Transport Infrastructure of the Siberian Region: Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference of the year 2017]. Irkutsk: in 2 vols. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017, 864 p., pp. 453–456.
12. Dul'skii E.Yu., Dotsenko N.S., Garev N.N. Opredelenie uglovyykh koeffitsientov izlucheniya v programmnom komplekse «MSC Marc» [Determination of the angular emission coefficients in the MSC Marc software package]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2013, No.3 (39). Irkutsk: IrGUPS Publ., pp. 85–89.
13. Khrustalev B.M., Nesenchuk A.P., Romanyuk V.N. Tekhnicheskaya termodinamika [Technical Thermodynamics]. Minsk : UP «Tekhnoprint» Publ., 2004, 486 p.
14. Asadchenko V.R. Avtomaticheskies tormoza podvizhnogo sostava [Automatic rolling stock brakes]. Moscow: Marshrut Publ., 2006, 392 p.
15. Afonin G.S., Barshchenkov V.N., Kondrat'ev N.V. Ustroistvo i ekspluatatsiya tormoznogo oborudovaniya podvizhnogo sostava [Structure and operation of the brake equipment of rolling stock]. Moscow : Akademiya Publ., 2006, 304 p.
16. Zhukov N.P. Gidrogazodinamika: uchebnoe posobie [Fluid Dynamics: a study guide]. Tambov : FSBEI HPE «TGTU» Publ., 2011, 92 p.
17. Khudonogov A.M., Ivanov P.Yu., Manuilov N.I., Dul'skii E.Yu. Intellektual'naya sistema diagnostiki tormoznoi seti poezda [Intellectual system for diagnosing the brake network of a train]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University], 2018, No. 1.

## Информация об авторах

## Authors

Иванов Павел Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [savl.ivanov@mail.ru](mailto:savl.ivanov@mail.ru)

Мануилов Никита Игоревич – аспирант кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [nikita-manuilov@mail.ru](mailto:nikita-manuilov@mail.ru)

Ivanov Pavel Yur'evich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [savl.ivanov@mail.ru](mailto:savl.ivanov@mail.ru)

Manuilov Nikita Igorevich – Ph.D. student of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [nikita-manuilov@mail.ru](mailto:nikita-manuilov@mail.ru)





manuilov@mail.ru

Дульский Евгений Юрьевич – к. т. н., доцент кафедры «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: E.Dul'skiy@mail.ru

Худоногов Игорь Анатольевич – д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: hudonogov@irgups.ru

Dul'skii Evgenii Yur'evich – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: E.Dul'skiy@mail.ru

Khudonogov Igor' Anatol'evich – Doctor of Engineering Science, Prof. of the Subdepartment of Electric Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: hudonogov@irgups.ru

#### Для цитирования

Иванов П. Ю. Определение причин самопроизвольных срабатываний тормозов поезда в границах Красноярской железной дороги / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский, И. А. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 59, № 3. - С. 68–76. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76.

#### For citation

Ivanov P. Yu., Manuilov N. I., Dul'skii E. Yu., Khudonogov I. A. Improving the controllability of brakes of trains. *Modern technologies. System analysis Modeling*, 2018, Vol. 59, No. 3, pp. 68–76. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76.

УДК 656.2:621.01

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).76-82

**О. А. Лебедева, Ю. О. Полтавская, В. Е. Гозбенко**

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

Дата поступления: 07 сентября 2018

### ВЫБОР МАРШРУТА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

**Аннотация.** Определение маршрута передвижения в системе метрополитена – один из путей повышения эффективности работы железной дороги, связанный с определением оптимального количества подвижного состава на линии и учетом интервалов движения, что в итоге может привести к снижению общего времени на передвижения. Системы метрополитена играют важную роль в удовлетворении спроса на городские перевозки в крупных городах. Задача восстановления матрицы корреспонденций на железнодорожном транспорте имеет большое значение для оптимального управления транспортным процессом, что включает в себя увеличение пропускной способности, оптимальное составление расписания движения, возможность моделирования в режиме реального времени. Внедрение новых систем оплаты проезда предоставляет возможность получить информацию о времени входа/выхода со станции. Но выбор поезда или/и маршрута передвижения остаются неизвестны. В статье представлен вариант решения задачи, не требующий затрат на дополнительное оборудование, кроме системы учета оплаты проезда, которая уже внедрена на железной дороге повсеместно. Проведен анализ существующих моделей, которые определяют основные факторы, влияющие на величину пропускной способности железнодорожных станций и степень их значимости. Анализ помог определить основные несоответствия сети железных дорог, ошибки, которые могут возникать в результате сбора данных, и пути их калибровки. В результате предлагается использовать вероятностную модель, которая может быть применена для проведения экспериментального анализа, касающегося восстановления матрицы корреспонденций.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, метрополитен, модель, смарт-карты, анализ, интеллектуальные транспортные системы, выбор маршрута.

**О. А. Lebedeva, J. O. Poltavskaya, V. E. Gozbenko**

Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

Received: September 07, 2018

### SELECTING A TRANSPORTATION ROUTE IN THE METROPOLITAN SYSTEM

**Abstract.** Determining the transportation route in the metropolitan system is one of the ways to improve the efficiency of the railway, associated with determining the optimal number of rolling stock on the line and taking into account the intervals, which can eventually lead to a decrease in the total travel time. Metropolitan systems play an important role in meeting the demand for urban transport in major cities. The task of restoring the correspondence matrix in railway transport is important for optimal control of the transport process, which includes increasing the capacity, optimizing the timetable, and the ability to simulate in real time. The introduction of new payment systems provides an opportunity to obtain information about the time of entry / exit to the station. But the choice of the train and / or the route of transportation remains unknown. The article presents a solution to the problem, which does not require the cost of additional equipment, except for the fare accounting system, which has already been universally implemented in the railway. The analysis of existing models that determine the main factors affecting the size of the capacity of railway stations and the degree of their significance are analyzed. The analysis helped to identify the main inconsistencies in the railway network, errors that may arise as a result of data collection, and ways of their calibration. As a result, it is proposed to use a probabilistic model that can be used to carry out an experimental analysis of the restoration of the correspondence matrix.

**Keywords:** railway transport, metropolitan railway, model, smart cards, analysis, intelligent transport systems, route selection.