

УДК 629.423.1

Е. Г. Авдиенко, Е. А. Третьяков

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ АВТОВОЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация. Актуальность работы заключается в поиске новых методов и средств повышения эффективности эксплуатации электроподвижного состава железных дорог в связи с внедрением новых уровней автоматизации управлением локомотива предусматривающие минимальное участие машиниста в процессе движения. В работе выполнен сравнительный анализ совершенствования беспилотных технологий на электроподвижном составе при переходе на более высокие уровни автоматизации. Также поставлена цель исследования, которая подразумевает применение искусственного интеллекта для реализации беспилотных технологий при внедрении данного функционала в систему автоведения. Также в таблице отдельно представлено сравнение каждого уровня автоматизации по различным критериям. В заключении статьи представлены функциональные возможности системы автоведения с применением беспилотных технологий на последнем уровне автоматизации (G0A4).

Ключевые слова: электроподвижной состав, автоведение, цифровая железная дорога, энергооптимальный путь, уровни автоматизации.

Е. G. Avdienko, E. A. Tretyakov

Omsk State Transport University, Omsk, the Russian Federation

IMPROVEMENT OF METHODS OF ENERGY-OPTIMAL AUTOMATIC DRIVING OF ELECTRIC CARGO LOCOMOTIVES UNDER THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE TRANSPORTATION COMPLEX

Abstract. The relevance of the work is calculated in the search for new methods and tools for evaluating the efficiency of the operation of electric rolling stock of railways in connection with the management of other levels of locomotive control. security levels. The goal of the study was also set, which provides for the use of artificial intelligence for the implementation of unmanned technologies when introducing this functionality into the driving system. The table also separately presents a comparison of each level of incidence according to the available criteria. In an article about the functionality of the auto-guidance system using unmanned technologies at the last level of reception (G0A4).

Keywords: electric rolling stock, autopilot, digital railway, energy-optimal path, automation levels.

Введение

Компанией ОАО «РЖД» была сформирована стратегия цифровой трансформации, программа развития холдинга, направленные на повышение эффективности деятельности компании и повышении конкурентоспособности в мире, в том числе благодаря применению современных прорывных информационных технологий [1, 2]. Согласно этим концепциям и стратегиям, компания ОАО «РЖД» реализует технологии «Internet of things», «Big Data», «Simulation modeling». Внедрение данных технологий позволит учитывать новые типы поступающих данных, а также с большей скоростью их обрабатывать, реализовать учёт заданного графика движения поездов, текущие возможности инфраструктуры, а также служить основой для развития беспилотных технологий и систем автоведения электроподвижного состава (ЭПС).

В настоящее время развитие систем автоведения и беспилотных технологий является важной научно-технической проблемой.

Анализ тенденций развития беспилотных технологий на ЭПС с увязкой к уровням автоматизаций по [1] выполнен многими исследователями [2-4]. В основном рассматривались вопросы автоматизации с целью обеспечения безопасного движения поездов [5], контроля свободности пути, ведение поезда (управления тягой и торможением) [7-9]. При этом функциональные возможности системы автоведения на уровне автоматизации GOA4, связанные с беспилотным управлением на основе искусственного интеллекта исследованы недостаточно и имеют потенциал развития.

Целью настоящего исследования является обоснование функциональных возможностей автоведения при реализации беспилотных технологий на основе искусственного интеллекта. Основные решаемые задачи: сравнительный анализ перспективных уровней автоматизации электроподвижного состава, оценка текущего состояния систем автоведения по отношению к указанным уровням автоматизации и обоснование функциональных возможностей автоведения при реализации беспилотных технологий на основе искусственного интеллекта.

Решение представленных задач позволит расширить представление и получить новые знания и результаты, обладающие научной новизной, в области функциональных возможностей и технологий автоведения, соответствующих уровню автоматизации GOA4.

Объекты и методы исследования.

В качестве объектов исследования выступает система автоведения электроподвижного состава.

Концептуальной основой анализа перспективных уровней автоматизации электроподвижного состава служат методы групповой экспертной оценки, анализа иерархий и сравнительной комплексной оценки для слабоструктурированных задач [10].

Международный союз общественного транспорта с точки зрения эксплуатации систем рассматривает пять уровней автоматизации управления движением поездов (от GOA0 до GOA4) (таблица 1) [10]. Уровень GOA4 реализует автоматическое управление движением поездов при отсутствии на подвижном составе эксплуатационного персонала. Данному уровню в большей степени подходит термин «беспилотное управление».

Практически весь подвижной состав, использующийся на российских железных дорогах снабжены устройствами безопасности, относящиеся к первому уровню автоматизации (GOA1). Поезда со вторым уровнем автоматизации (GOA2) продуктивно используются около 20 лет в России. Данный уровень автоматизации базируется на более совершенной версии системы автоведения, которая реализует алгоритмы выдачи управляющих воздействий на тяги и торможение, а также реализацию энергооптимального ведения электроподвижного состава по определённому маршруту с учётом внешних факторов получаемых через рельсовую цепь поезда.

При текущем уровне автоматизации машинист ещё непосредственно следит за путём в процессе движения, а также реагирует на чрезвычайные ситуации, которые могут возникать. Также машинист отвечает за точное и безопасное отправление состава от станций. Текущий уровень автоматизации (GOA2), позволяет снизить утомляемость машиниста, что позволяет более внимательно следить за поездной обстановкой, а система автоведения реализует энергооптимальные графики движения и непосредственно их исполнение в процессе движения. Согласно данному уровню, система автоведения должна обеспечивать безопасный маршрут, безопасное интервальное регулирование движения, безопасную скорость движения, управлять тягой и торможением.

К примеру, система автоведения от компании «АВП Технология» УСАВП [11] выполняет основные функции: определение оптимальной траектории движения с учётом выполнения графика движения, определяет и отображает фактический расход электроэнергии, аналитическое сравнение фактической и расчётной скорости движения подвижного состава в реальном времени, оперативное снижение скорости при в местах действия ограничений и т.д.

Таблица 1 - Уровни автоматизации подвижного состава

Базовые функции по управлению поездами		Управление поездами под ответственностью машиниста	Неавтоматизированное управление поездами	Полуавтоматизированное управление поездами	Автоматическое управление поездами без машиниста	Автоматическое управление поездами на основе ДК/ДУ	Полностью автоматическое управление поездами
		GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA 3/4	GOA4
Обеспечение безопасного движения поездов	Обеспечение безопасного маршрута	x (выдача команд/контроль стрелок осуществляется в системе)	система	система	система	система	система
	Обеспечение безопасного интервального регулирования	x	система	система	система	система	система
	Обеспечение безопасной скорости	x	x (частично контролируется системой)	система	система	система	система
Ведение поезда	Управление тягой и торможением	x	x	система	система	система	система
Контроль свободности пути	Предотвращение столкновения с препятствиями	x	x	x	система	система	система
	Предотвращение наездов поездов на людей, находящихся на путях	x	x	x	система	система	система

При третьем уровне автоматизации (*GOA3*) система автоведения должна реализовывать автоматическое управление поездом без присутствия машиниста в кабине. Для достижения данного уровня автоматизации необходима установка дополнительных мер безопасности в виде различных типов камер, лидаров, радаров, так как необходимо кому-то следить за занятостью пути и общей поездной обстановкой. Главным условием реализации данного уровня автоматизации это присутствие на борту членов оперативного персонала, которые отвечают за безопасность отправления поезда от платформы и за закрытие дверей.

При четвертом уровне автоматизации (*GOA4*) система автоведения реализует полностью автоматическое управление подвижным составом (беспилотное управление). Но для реализации текущего уровня автоматизации требуются дополнительные меры безопасности по сравнению с предыдущим уровнем. Также в автоматическом режиме должно обеспечиваться безопасное отправление подвижного состава от станции, а также двери по всему составу должны закрываться также автоматически.

Для реализации систем автоведения с беспилотными технологиями при четвертом уровне автоматизации (*GOA4*), основанном на применении систем искусственного интеллекта и машинного обучения, необходимо реализовать следующие функциональные возможности таких систем:

- современные бортовые системы безопасности движения с применением технологий искусственного интеллекта;

- системы «беспилотного управления» на основе цифровой модели энергетической и путевой инфраструктуры реального времени;

- современные технологии сбора и обработки информации BigData, методов искусственного интеллекта с ЭПС и инфраструктуры;

- учет значительного количества изменяющихся факторов, в том числе на основе измерительных бортовых систем ЭПС, в процессе движения (изменение сопротивлений движения ЭПС, момент инерции, тормозные силы, учёт динамических продольных внутренних сил подвижного состава, текущий вес поезда, ограничения путевой и энергетической инфраструктуры, статусы ближайших участников движения);

- адаптивность и самоорганизация системы автоведения к изменяющимся внешним условиям и факторам в автоматическом режиме;

- отказ от упрощенных эмпирических выражений для определения удельных сопротивлений движения поезда.

Ожидаемый эффект от реализации системы автоведения ЭПС на основе представленных функциональных возможностей уровня автоматизации (*GOA4*):

- повышение использования пропускной способности и увеличение провозной способности за счет более точного исполнения графика движения поездов;

- повышение безопасности движения за счет уменьшения вероятности опасного сближения поездов;

- уменьшение затрат энергии на тягу поездов за счет выбора энергооптимальных режимов управления поездом и оптимального по критерию минимума энергозатрат распределения времени хода по линии на время хода по перегонам на основе методов искусственного интеллекта.

Заключение

Существующие технологии системы автоведения ЭПС соответствуют уровню автоматизации управления подвижным составом (*GOA2*). Для перехода на третий уровень автоматизации (*GOA3*) требуется реализовать внедрение системы компьютерного зрения путём установки радаров, лидаров и различных типов камер.

Предлагаемые функциональные возможности автоведения ЭПС позволят реализовать беспилотные технологии на основе искусственного интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» № 466р. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018. / Правительство Российской Федерации. М., 2019. 135 с.
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года № 466р. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018. / Президент Российской Федерации. М., 2018. 19 с.
3. Концепция реализации комплексного научно технического проекта «Цифровая железная дорога» № 1285р. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 05.12.2017. / ОАО «РЖД». М., 2017. 92
4. Малахов, С.В. Оптимизация энергозатрат на тягу поездов на основе уточненного метода тяговых расчётов: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук/ Малахов Сергей Валерьевич; Российский университет транспорта. – Москва, 2021. – с. 6-12.
5. Перестенко, А.Ю. Повышение эффективности использования магистральных грузовых электровозов посредством управления режимами эксплуатации: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук/ Шантаренко Сергей Георгиевич; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2021. – с. 5-15.
6. Баранов, Л.А. Автоматизированные системы управления электроподвижным составом: учебник в 3 ч. Ч. 1. Теория автоматического управления / Л.А. Баранов, А.Н. Савоськин, О.Е. Пудовиков и др.; под ред. Л.А. Баранова и А.Н. Савоськина. – Москва, 2014. 400 с.
7. Баранов, Л.А. Микропроцессорные системы автоведения подвижного состава / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Ерофеев, В.М. Максимов; под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. 272 с.
8. Баранов, Л.А. Оптимизация управления движением поездов : учеб. пособие / Л.А. Баранов, Е.В. Ерофеев, И.С. Мелешин, Л.М. Чинь; под ред. д.т.н., проф. Л.А. Баранова. – Москва. МИИТ, 2001.164 с.
9. Мугинштейн, Л.А., Лисицын А.Л. Нестационарные режимы тяги (Сцепление. Критическая норма массы поезда). – Момсква: Интекст, 1996. 176 с.
10. Benedikt Eberhardinger; Wolfgang Reif; Franz Wotawa; Tom Holvoet. Quality Assurance for Self-Adaptive, Self-Organising Systems (Message from the Workshop Organisers). 2014 IEEE Eighth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops. DOI: 10.1109/SASOW.2014.30
11. Guojian Cheng; Tianshi Liu; Xiaoxiao Wang; Quanzhou Huang. Rapid Training for Self-Organizing Neural Networks with Incremental. 2006. Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. DOI: 10.1109/ISDA.2006.222
12. Y. Kawachi; M. Inaba; T. Fukuda. Self-organizing intelligence for cellular robotic system 'CEBOT' with genetic knowledge production algorithm. Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation. DOI: 10.1109/ROBOT.1992.220269.
13. Thomas B. Sheridan. Adaptive Automation, Level of Automation, Allocation Authority, Supervisory Control, and Adaptive Control: Distinctions and Modes of Adaptation. 2011. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans. DOI: 10.1109/TSMCA.2010.2093888
14. Scheepmaker, G.M., Pudney, P.J., Albrecht, A.R., Goverde, R.M.P., Howlett, P.G. Optimal running time supplement distribution in train schedules for energy-efficient train control. (2020) Journal of Rail Transport Planning and Management, 14, статья № 100180. DOI:10.1016/j.jrtpm.2020.100180.
15. Phalgun Madhusudan; DB Rathankumar; K Aishwarya; G S Anitha. Computationally

Efficient Algorithms and High-Speed ASIC design for Railway Gate Automation. 2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). DOI: 10.1109/ICCMC.2018.8488089.

REFERENCES

1. Dolgosrochnaja programma razvitija otkrytogo akcionernogo obshhestva «Rossijskie zheleznye dorogi» № 466r. Utv. Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 07.05.2018. / Pravitel'stvo Rossijskoj Federacii. M., 2019. 135 p.
2. O nacional'nyh celjah i strategicheskikh zadachah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda № 466r. Utv. Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 07.05.2018. / Prezident Rossijskoj Federacii. M., 2018. 19 p.
3. Koncepcija realizacii kompleksnogo nauchno tehničeskogo proekta «Cifrovaja zheleznaia doroga» № 1285r. Utv. rasporjazheniem OAO «RZhD» ot 05.12.2017. / OAO «RZhD». M., 2017. 92 p.
4. Malahov S.V. Optimizacija jenergozatrata na tjagu poezdov na osnove utočnennogo metoda tjagovyh raschjotov: special'nost'. Doctor's thesis, Malahov Sergej Valer'evich; Rossijskij universitet transporta. – Moskva, 2021. pp. 6-12.
5. Perestenko A.Ju. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija magistral'nyh gruzovyh jelektrovozov posredstvom upravlenija rezhimami jekspluatacii. Doctor's thesis, Shantarenko Sergej Georgevich; Omskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. – Omsk, 2021. pp. 5-15.
6. Baranov, L.A. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija jelektropodvizhnym sostavom: uchebnik [Automated control systems for electric rolling stock]. Moscow. Transport publ., 2014. 400 p.
7. Baranov, L.A. Mikroprocessornye sistemy avtovedenija podvizhnogo sostava [Microprocessor systems for automatic guidance of rolling stock]. Moscow. Transport publ., 1990. 272 p.
8. Baranov, L.A. Optimizacija upravlenija dvizheniem poezdov [Optimization of train traffic control]. Moscow, 2001. 164 p.
3. Muginshtejn L.A., Lisicyan A.L. Nestacionarnye rezhimy tjagi [Unsteady thrust modes]. – M.: Intekst, 1996. 176 p.
4. Benedikt Eberhardinger; Wolfgang Reif; Franz Wotawa; Tom Holvoet. Quality Assurance for Self-Adaptive, Self-Organising Systems (Message from the Workshop Organisers). 2014 IEEE Eighth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops. DOI: 10.1109/SASOW.2014.30
5. Guojian Cheng; Tianshi Liu; Xiaoxiao Wang; Quanzhou Huang. Rapid Training for Self-Organizing Neural Networks with Incremental. 2006. Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. DOI: 10.1109/ISDA.2006.222
6. Y. Kawauchi; M. Inaba; T. Fukuda. Self-organizing intelligence for cellular robotic system 'CEBOT' with genetic knowledge production algorithm. Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation. DOI: 10.1109/ROBOT.1992.220269.
7. Thomas B. Sheridan. Adaptive Automation, Level of Automation, Allocation Authority, Supervisory Control, and Adaptive Control: Distinctions and Modes of Adaptation. 2011. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans. DOI: 10.1109/TSMCA.2010.2093888
8. Scheepmaker, G.M., Pudney, P.J., Albrecht, A.R., Goverde, R.M.P., Howlett, P.G. Optimal running time supplement distribution in train schedules for energy-efficient train control. (2020) Journal of Rail Transport Planning and Management, 14, статья № 100180. DOI:10.1016/j.jrtpm.2020.100180.
9. Phalgun Madhusudan; DB Rathankumar; K Aishwarya; G S Anitha. Computationally Efficient Algorithms and High-Speed ASIC design for Railway Gate Automation. 2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). DOI:

10.1109/ICSMC.2018.8488089.

Информация об авторах

Авдиенко Егор Геннадьевич – аспирант, инженер кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: sleyter.ua@gmail.com

Третьяков Евгений Александрович – к. т. н., доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: eugentr@mail.ru

Information about the authors

Avdienko Egor Gennadyevich – post-graduate student, engineer of the department "Rolling stock of electric railways", Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: sleyter.ua@gmail.com

Tretyakov Evgeny Alexandrovich – Ph.D in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Railway Rolling Stock, Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: eugentr@mail.ru